L'ELETTRONICA

IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

Onde elettromagnetiche

1



RADIO - TRANSISTORI - CIRCUITI INTEGRATI - Hi-Fi - ANTENNE - TRASMISSIONE - APPLICAZIONI VARIE

Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - —70% - Lire 750

L'ELETTRONICA

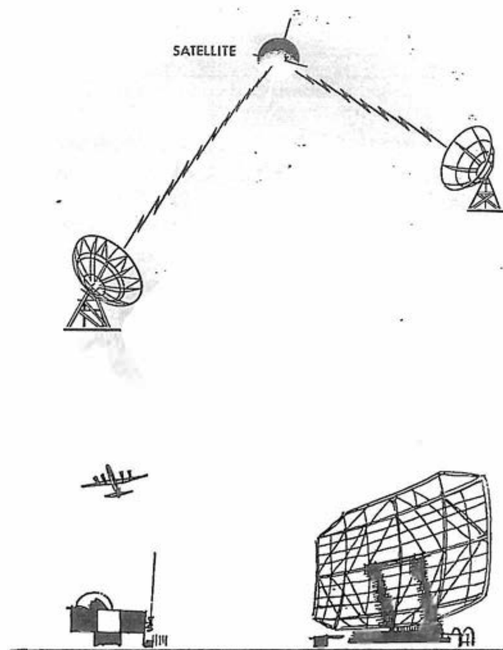
IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

Onde elettromagnetiche 1



Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - —70% - Lire 750

Che cos'è l'elettronica?



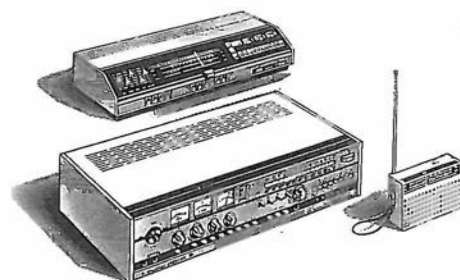
I nostri lettori sanno già che correntemente, dicendo *elettronica* ci si può riferire tanto alla « fisica elettronica » quanto alla « tecnologia elettronica ».

Studiare l'elettronica può voler dire quindi occuparsi dell'*elettrone* nel suo moto e nella sua azione (fisica), quanto interessarsi all'applicazione della scienza in questione alle innumerevoli attività e forme d'impiego cui essa si presta (tecnologia).

Quest'ultimo aspetto è certamente quello che suscita un interesse più vasto e che più facilmente può essere padroneggiato dalla quasi totalità degli interessati; ed è appunto l'aspetto che abbiamo posto alla base dello svolgimento del presente lavoro.

Ciononostante, anche nel caso testé accennato non si possano ignorare — è logico — un minimo di nozioni, elementari, relative alla natura della materia, all'elettrone, alla sua rotazione attorno al nucleo, al flusso del suo movimento, alle influenze che su di esso si possono esercitare, ecc.

Rendersi conto di ciò significa comprendere poi con facilità che cos'è l'elettricità, come funziona una valvola termoionica, un transistore, un tubo a raggi catodici, ecc.



L'elettronica è entrata oramai, e a buon diritto, praticamente in tutti i campi dell'attività e della vita dell'uomo. Non è soltanto quando osserviamo un'immagine televisiva o ascoltiamo la radio che abbiamo a che fare con applicazioni dell'elettronica; anche un orologio, un aeroplano, un film, un'automobile, un qualsiasi manufatto, sono legati oggi all'elettronica o nella loro fabbricazione o nel loro uso.

Criteri di procedura

Premesso quanto sopra, imposteremo il nostro primo compito — quello d'introdurre il lettore alle nozioni più elementari dell'elettronica — svolgendo la materia secondo un concetto che è conseguenza di logica e di esperienza.



Vogliamo dire che ci occuperemo, per quanto lo consente lo sviluppo e la mole di questo Corso, di tutti i più correnti aspetti dell'applicazione elettronica, ma seguiremo un ordine che tiene prevalentemente conto dei rami più ampi e meno specialistici così che gli stessi saranno qui esaminati per primi e con maggior dettaglio. Tra questi rami primeggia, per importanza e vastità di impiego, quello delle *telecomunicazioni* (comunicazioni a distanza).

Vedremo, in merito, la teoria delle telecomunicazioni nei suoi elementi e nei suoi fenomeni prima di affrontare la tecnica vera e propria e vedremo anche — subito dopo — l'elettricità nelle sue leggi e nei princìpi che la governano in quanto argomento di base, indispensabile per la conoscenza e l'apprendimento di qualsiasi ulteriore evoluzione tecnologica.



Nell'esposizione incontreremo, mano a mano, oltre che concetti, termini e misure proprie della materia trattata: potrà darsi che il lettore conosca già tali termini ed il loro significato — alcuni, come « volt », « lunghezza d'onda », « resistenza », ecc. sono di larga popolarità — ma noi, stando alle nostre premesse, ne esporremo egualmente il significato, partendo dal principio che devono poter seguire il testo anche coloro che tutto ignorano dei più elementari fenomeni elettrici.

Per concludere, ripetiamo che poiché l'elettronica, così come oggi la osserviamo e la conosciamo, ha avuto questo suo formidabile sviluppo appunto per soddisfare sempre meglio le necessità di comunicazioni tra siti diversi, abbiamo ritenuto opportuno occuparci, prima di ogni altra cosa, proprio di tali comunicazioni.



Subito dopo detto argomento, un incontro con qualcosa di meno teorico: l'attrezzatura che può necessitare ed i componenti, ossia le parti che l'industria crea per la costruzione degli apparecchi. Infine, le prime realizzazioni, e così via, sempre alternando gli argomenti sotto tale profilo.

Oscillazioni - vibrazioni

L'uomo possiede un mezzo di comunicazione e di intelligenza auditiva verso i suoi simili: la voce. La voce, al pari dei suoni e dei rumori, si propaga nell'aria e dalla fonte si estende, in ogni direzione, in modo concentrico, verso ogni punto circostante. La voce, perciò, generata dalle corde vocali di chi parla, perviene ai timpani dell'orecchio di chi ascolta. Si attua in tal modo il più semplice e noto sistema di comunicazione tra due o più punti.



Fig. 1 - La corda di uno strumento musicale (fonte) posta in vibrazione trasmette il suo moto vibratorio (suono) tutto attorno a sé, tramite l'onda.

Abbiamo accennato alle corde vocali: il termine richiama alla mente, per immediata associazione di idee, le corde di un qualsiasi strumento musicale (**figura 1**) con le quali, in effetti, le corde vocali hanno notevole analogia.

Per generare ciò che noi chiamiamo suono occorre che tali corde siano poste in movimento, più esattamente occorre che compiano quel caratteristico movimento che viene detto correntemente **oscillazione** o **vibrazione.** Così agendo la corda (ed ogni altra fonte di suono) comunica all'aria che la circonda tale suo movimento, ed il moto vibratorio diventa proprio dell'aria, con trasmissione di particella in particella: si avranno, in conseguenza della vibrazione dell'oggetto-fonte, pressioni e susseguenti rarefazioni dell'aria stessa.



Fig. 3 - Una laminetta elastica, fissata rigidamente da un lato, rappresenta anch'essa, come la corda, un evidente esempio di corpo che può essere posto facilmente in vibrazione.

L'aria in questo caso è il mezzo necessario alla propagazione: nel vuoto infatti, non si verifica trasmissione di suono.

In virtù del suo comportamento, si può dire che **l'aria è un mezzo elastico**. Però la trasmissione del suono, si noti, può aver luogo anche attraverso altri mezzi, quali l'acqua, il legno, i metalli, i gas, ecc.; essi possono essere definiti perciò tutti, mezzi elastici.

Un qualsiasi altro oggetto, elastico, e cioè capace di vibrare, che si trovi nella zona d'aria messa in movimento da una fonte di suono, colpito dalla perturbazione, può entrare anche esso in vibrazione. Tale è appunto il timpano dell'orecchio, ed è così che, tramite l'aria, il suono viene a porre in funzione l'organo uditivo.



Fig. 2 - Anche se poste in azione contemporaneamente fonti diverse possono essere individuate a causa delle diverse frequenze che sono loro caratteristiche.

Evidentemente, le vibrazioni possono variare molto fra loro, possono essere cioè più o meno ampie (**intensità del suono**) e più o meno rapide nel loro verificarsi (**frequenza del suono**). Grazie a ciò noi distinguiamo suoni di diversa intensità e tonalità (**figura 2**) e ancora, i suoni che udiamo possono essere puri o complessi (formati da più oscillazioni contemporaneamente), gradevoli o sgradevoli.

Oltre che alla corda di uno strumento musicale si può pensare, per farsi una chiara idea di un mezzo vibrante, ad una laminetta elastica che, fermata rigidamente da un lato, libera dall'altro (vedi **figura 3**), provocata con un urto (apporto di energia), dà inizio ad una serie di oscillazioni.

Si è voluto e potuto dare una rappresentazione grafica alle oscillazioni.

Supponiamo che l'estremità vibrante della laminetta di cui sopra sia dotata di una punta scrivente e che sotto tale punta scorra con moto uniforme e costante (variazione di tempo), un nastro di carta (**figura 4**); otterremo che, in funzione del tempo (indicato nel senso di scorrimento della carta) la traccia indicherà le diverse posizioni o spostamenti (nel senso dell'altezza del nastro di carta) della lamina.

Avremo realizzato, con un dispositivo simile, la più semplice espressione di **oscillografo**, ossia di uno strumento che ci consente di « scrivere l'oscillazione ». Tale strumento, assai perfezionato (**figura 5**), è oggi di uso comune in radiotecnica e, naturalmente, lo vedremo in dettaglio nelle future lezioni.

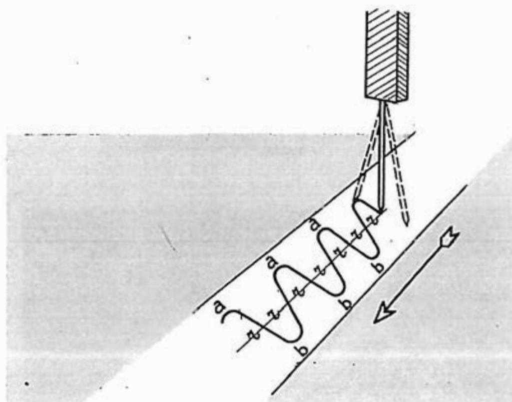


Fig. 4 - Se una estremità della lamina fosse scrivente, l'oscillazione potrebbe essere « scritta » su di un nastro mobile di carta.

Le posizioni della lamina sono, evidentemente, i due limiti estremi, opposti, raggiunti con lo spostamento massimo, e tutte le altre posizioni intermedie, sempre verificandosi il passaggio per il centro « r », vale a dire per quel punto che corrisponde alla posizione della lamina allorché essa è allo stato di riposo.

Di conseguenza, la distanza fra i due punti massimi « a » e « b » ci dà una misura dell'**ampiezza** dell'oscillazione mentre il numero di

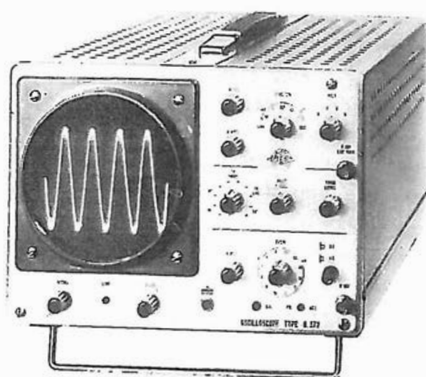


Fig. 5 - Uno strumento di grandissima utilità, l'oscillografo, consente l'osservazione di oscillazioni che si verificano con ripetizione (frequenza) anche molto elevata. Poiché la sua scrittura, effettuata con la luce, non è permanente, viene definito anche oscilloscopio.

volte in cui, in un dato tempo (prendiamo come riferimento 1 secondo) le due posizioni estreme sono raggiunte ci dice con quale **frequenza** (più o meno elevata) il fenomeno si svolge.

Si è potuto in tal modo avere una espressione illustrativa dell'oscillazione e l'andamento, armonico, così come appare alla figura 4 viene detto **sinusoidale.**

Considerando il punto della posizione di riposo o di centro, « r », della lamina, possiamo osservare che i picchi massimi si trovano una

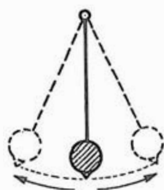


Fig. 6 - Il pendolo rappresenta un altro classico esempio di moto oscillatorio meccanico.

volta da un lato e l'altra volta dal lato opposto, in altri termini, possiamo chiamare una posizione, rispetto al centro, **positiva** e, per contro, la posizione opposta **negativa**: i due picchi sono praticamente di pari ampiezza tra loro e si manifestano di seguito per tutta la durata dell'oscillazione.

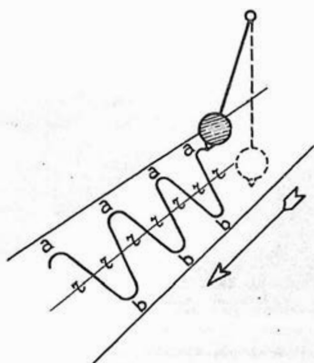


Fig. 7 - Così come la laminetta, il pendolo potrebbe scrivere l'oscillazione sul nastro mobile di carta.

La lamina ripete i suoi movimenti e quindi ritorna, periodicamente, sulle stesse posizioni già raggiunte: si dice appunto **periodo di oscillazione** il tempo che necessità affinché la laminetta ritorni su di una identica posizione.

L'insieme completo di valori durante un intero periodo è detto **ciclo.**

La frequenza si esprime pertanto in cicli (o hertz = Hz). Infatti, prendendo a riferimento, come si è detto, un minuto secondo per determinare la frequenza, è chiaro che essa potrà essere indicata con il numero dei cicli che si verificheranno in detto secondo, ossia in **cicli al secondo**; si individuerà in tal modo, in maniera precisa, la frequenza dell'oscillazione.

Anche un comune pendolo può dare una chiara idea del moto oscillatorio (**figure 6** e **7**). In entrambi i casi citati si è in presenza di un

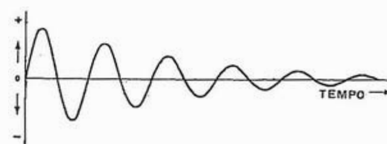


Fig. 8 - L'oscillazione, pur non modificandosi in frequenza, diminuisce di ampiezza col trascorrere del tempo (se non si ripete l'azione che l'ha provocata); così come è qui rappresentata essa è una oscillazione smorzata.

moto oscillatorio meccanico, un moto cioè, assunto da un corpo materiale.

La frequenza, ossia il numero di cicli al secondo che un oggetto in grado di vibrare, se provocato o avviato opportunamente, assume, è la risultante di diversi fattori tra i quali, in primo luogo, le sue dimensioni, la rigidità, il materiale, il peso, ecc.

Si noti che, in linea di massima, l'oggetto manterrà sempre, se non cambiano i fattori intrinseci citati, la stessa frequenza, pur se, nel tempo, non ripetendosi la causa (energia) che ha dato inizio alle oscillazioni, le oscillazioni diminuiranno gradatamente di ampiezza sino ad estinguersi per effetto frenante dell'aria o del mezzo in cui ha luogo l'oscillazione (tale effetto detto **smorzamento** è graficamente riportato in **figura 8**).

Questa frequenza propria dell'oggetto in grado di vibrare è detta la sua frequenza di risonanza.

Un esempio di oggetto, assai noto, creato appositamente per emettere determinate vibrazioni a frequenza precisa, è il diapason (**figura 9**). Esso fornisce il « La » musicale e per

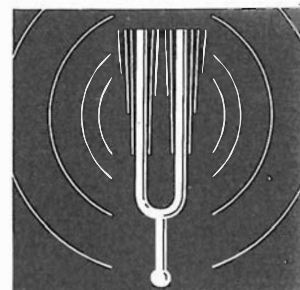


Fig. 9 - Scegliendo opportunamente materiale e dimensioni nella realizzazione di una forcella metallica si può — ponendola in vibrazione — far sì che la vibrazione stessa risulti di una data frequenza: è il caso del diapason qui illustrato che fornisce il « La » musicale (440 vibrazioni al secondo).

poter fare ciò viene costruito in modo che la sua frequenza di risonanza risulti di 440 periodi al secondo.

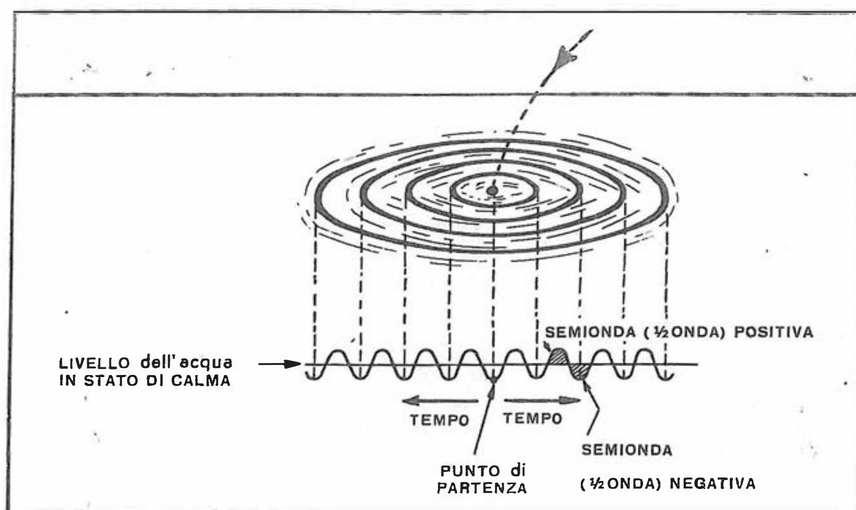


Fig. 10 - Il termine « onda » per l'oscillazione è reso molto evidente in questo caso, così come la propagazione in tutte le direzioni circostanti.

Difficilmente un oggetto in grado di vibrare entra in vibrazione unicamente se eccitato alla sua frequenza di risonanza: molte altre frequenze comprese in una zona più o meno ampia, ossia più o meno differenti dalla frequenza di risonanza, sono in grado di provocare in esso la vibrazione, purtuttavia l'oscillazione della maggiore ampiezza, ottenuta col minor impiego di energia di eccitazione — in altre parole — il miglior rendimento oscillatorio, si verificherà sempre per la frequenza propria di risonanza.

La zona più o meno ampia precedentemente riferita costituisce la così detta banda di risonanza del sistema oscillatorio.

Le onde

Ci siamo fatti una prima idea dei diversi fenomeni oscillatori e non vogliamo lasciare l'argomento senza aver riportato un altro esempio che è classico e significativo nell'illustrazione di questi concetti.

La **figura 10** riproduce appunto un altro caso di generazione di oscillazioni: si tratta di quelle oscillazioni che si formano allorché sulla superficie calma di uno specchio d'acqua viene lanciato un corpo, ad esempio, un sasso. Si formano allora, attorno al punto di generazione, una serie di particolari ben note e visibili oscillazioni: **le onde.**

Esse tradotte graficamente si presentano né più né meno come la risultante che già abbiamo visto per la laminetta o per il pendolo: anche qui dunque un andamento sinusoidale, con una punta (cresta) che potremmo dire positiva ed una (vallo) che potremmo dire negativa, rispetto al livello dell'acqua in stato di calma.

Si notino due caratteristiche di notevole rilievo: 1) le onde, muovendo dal centro verso l'esterno diventano sempre meno ampie, sino a scomparire; 2) se esse incontrano un oggetto solido, da tale oggetto vengono riflesse.

Abbiamo detto più avanti che la lama elastica vibra, ossia oscilla se si fa in modo che venga in certo qual modo « caricata » vale a dire se, con un certo apporto di energia viene tesa e curvata verso un estremo e liberata bruscamente. Anche con il pendolo per dar luogo alle oscillazioni si deve alzare da un lato (impiego di energia) il peso e quindi abbandonarlo. In entrambi i casi è evidente la necessità al ricorso di una certa energia. Esauritosi l'effetto di questa energia i fenomeni oscillatori cessano: l'effetto però perdura un certo tempo e alla cessazione si perviene solo gradualmente passando per tutti i valori successivi, dalla massima ampiezza di oscillazione iniziale alla fine di qualsiasi movimento (vedi Figura 8).

Il caso della generazione di onde è analogo. Il sasso lanciato — o anche semplicemente lasciato cadere — sulla superficie dell'acqua cal-

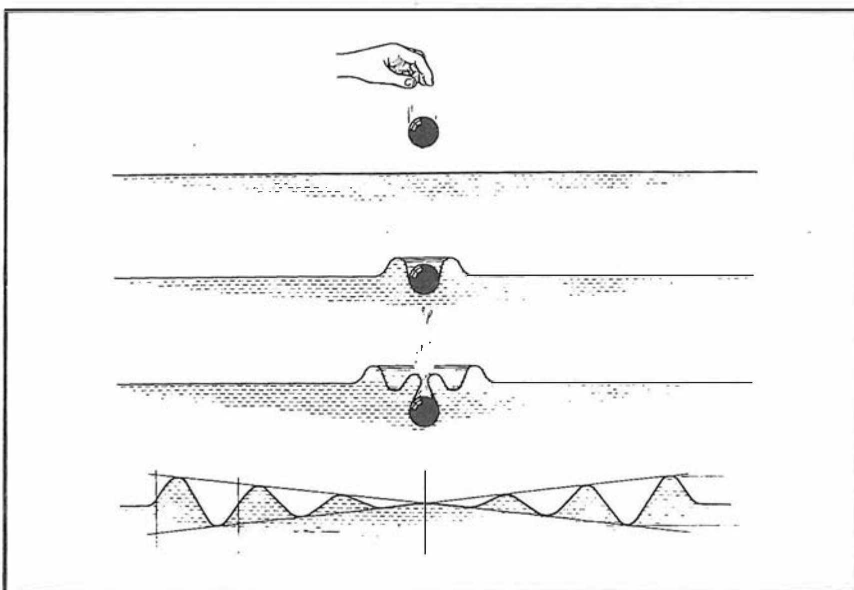


Fig. 11 - Le differenti fasi di produzione di onde a seguito della caduta di un corpo sulla superficie immobile di un liquido, ed il loro espandersi.

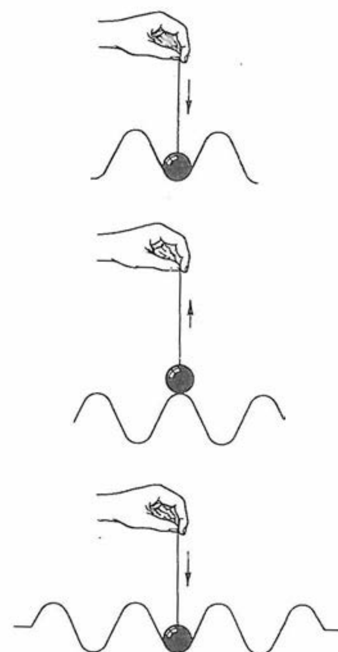


Fig. 12 - Se si immagina che il corpo sia soggetto ad una ripetizione degli apporti di energia (non più la sola forza di gravità) si può facilmente intuire che le oscillazioni non si smorzeranno, ma si susseguiranno sempre di pari ampiezza, se i movimenti impressi all'oggetto saranno eguali.

ma apporta la sua energia. Nel caso di caduta si tratta evidentemente di energia che gli deriva dalla forza di gravità.

Esaminiamo il fenomeno con l'aiuto della **figura 11**: ivi sono riprodotte le diverse fasi. Nell'istante in cui l'oggetto prende contatto con la superficie esso spinge l'acqua attorno impartendole un movimento iniziale di spostamento. L'oggetto in seguito affonda e non influenza più il fenomeno testé visto ma prima di ciò ha modo di creare altre onde che spingono ulteriormente all'esterno l'onda primitiva. Si ritorna poi allo stato iniziale di calma.

Riteniamo che, a questo punto sia molto chiaro al lettore che in ogni caso, se si vuole far sussistere la presenza di oscillazioni occorre ripetere l'azione che ha dato luogo al fenomeno la prima volta.

Nel caso dell'oggetto e dell'acqua, se si immagina l'oggetto stesso soggetto ad un controllo e ad una ripetizione degli apporti di energia (**figura 12**) si può facilmente intuire che le oscillazioni non si smorzeranno più ma si susseguiranno sempre di pari ampiezza se i movimenti impressi all'oggetto saranno eguali tra loro.

Una metà dell'onda, abbiamo già visto, può essere definita positiva (**semi-onda positiva**) e l'altra metà, negativa (**semi-onda negativa**).

Con questa evidente e molto comune analogia tra le oscillazioni dell'aria di cui prima si è detto e quelle dell'acqua ora prese ad esempio, è facile formarsi il concetto e la nozione di onda e spiegarsi un'estensione del fenomeno applicato a tutte le oscillazioni.

Esaminiamo un momento la **figura 13.** Essa ci è già nota perché l'abbiamo illustrata nelle figure ove è stata riprodotta una qualsiasi fonte di oscillazioni, vale a dire di onde.

L'analisi del disegno ci porta a rilevare diverse definizioni molto utili per classificare le onde e a questo fine differenziarle. Così rileviamo un « punto di partenza » e poiché vi è una direzione di movimento, nel « tempo », si può affermare che un'onda non è altro che una vibrazione nascente da una fonte e propagantesi, con una data velocità rispetto al tempo, nel mezzo circostante (aria, acqua, ecc.).

Rileviamo altre definizioni alla figura 13. Osserviamo ciò che già era apparso alle figure 4 e 7, vale a dire un punto centrale o di « zero » rispetto all'ampiezza che è definito « asse del tempo »: osserviamo ancora l'ampiezza esistente tra un punto massimo positivo ed un altro negativo che viene definita ampiezza « da cresta a cresta » ed infine il ciclo (passaggio per punti eguali) di cui si è detto.

A questo punto viene fatto di chiedersi se esistono solo le oscillazioni di cui si è sin qui parlato. In natura si è in presenza invece di molti altri tipi di oscillazioni e tali manifestazioni non sono né isolate né sporadiche, ma tra loro analoghe e vicine secondo un andamento definito delle loro caratteristiche.

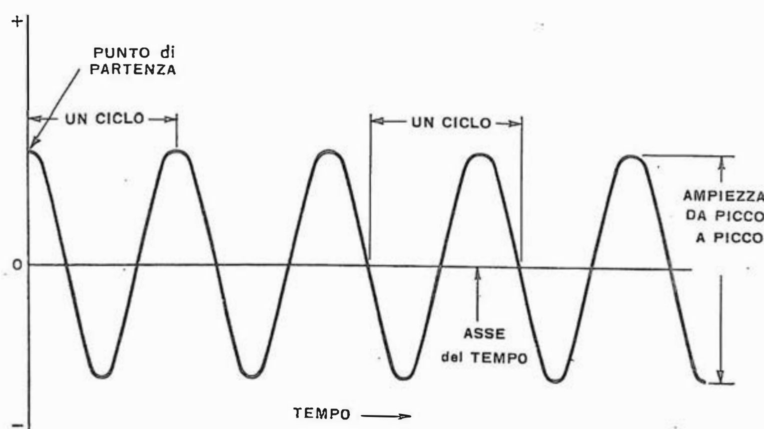


Fig. 13 - Un'onda è una vibrazione che si propaga. Rispetto ad un livello zero (0) una metà dell'onda può essere definita « positiva » (+) e l'altra « negativa » (—). Tra il massimo positivo e quello negativo (tra i picchi) si valuta « l'ampiezza » dell'onda. La distanza tra due picchi (oppure tra inizio e fine) costituisce un « ciclo » completo dell'onda. Il numero di cicli che si verifica nel tempo di 1 secondo definisce la « frequenza » di quell'onda.

Tipi diversi di oscillazioni

Già si è visto come un'oscillazione possa differire da un'altra per la sua frequenza (numero di manifestazioni o cicli al secondo); orbene, è provato che la luce, i raggi cosmici, i raggi infrarossi (calore), i raggi ultravioletti, ecc. sono tutte manifestazioni di oscillazioni differenti tra loro non solo nella frequenza ma anche nella propagazione; esse costituiscono nell'assieme una successione continua.

Di conseguenza, è possibile stabilire una determinata posizione di successione reciproca tra tutte le onde, ossia tra tutte le frequenze, dando termini di appropriate definizioni alle rispettive zone di questa scala o spettro continuo.

L'orecchio umano può percepire oscillazioni che si verificano con una frequenza minima di circa 20 cicli al secondo; è questo il suono più basso da noi udibile.

Da esso, aumentando nella frequenza, si passa attraverso tutta la gamma percepibile dall'udito sino a 12000 ÷ 15000 cicli al secondo (suoni acuti: la percezione dell'orecchio varia da persona a persona e decresce con l'età) oltre i quali, se pur vi è oscillazione, il nostro orecchio non la rivela in quanto il timpano non è più in grado di seguire oscillazioni di tale frequenza.

Questa gamma di oscillazioni può perciò essere definita delle **onde sonore**. La fonte è sempre un mezzo meccanico.

Da un lato e dall'altro della gamma udibile abbiamo onde « subsoniche » (da frazioni di ciclo a pochi cicli al secondo) e onde « ultrasoniche » (oltre i 15000 cicli al secondo).

In realtà gli ultrasuoni possono definirsi tali fino a che si mantengono, grosso modo, nel comportamento e per ciò che concerne la loro diffusione e propagazione, con le caratteristiche dei suoni e ciò avviene fino ai 30.000 ÷ 40.000 cicli al secondo. Di queste oscillazioni — ultrasuoni — si hanno diversi sfruttamenti industriali di cui diremo a suo tempo.

Onde elettromagnetiche

Abbiamo testé accennato al fatto che la luce, il calore, gli ultravioletti, ecc. sono anch'esse delle oscillazioni. La differenza tra queste manifestazioni e le prime che abbiamo visto, quelle che si possono denominare « sonore », è rilevante. Essa non sta solo nella caratteristica di frequenza.

Il comportamento, i sistemi di generazione, il mezzo di propagazione di queste oscillazioni — che vengono classificate genericamente come **elettromagnetiche** — è infatti notevolmente diverso. La loro natura non è ancora definibile in modo esatto ma si può loro attribuire con certezza un comportamento ondulatorio e, a volte, di particelle della materia irradiate.

Il sole è una delle fonti più importanti e più note di irradiazione di energia emessa appunto sotto forma elettromagnetica.

Oltre a quelle già citate vi sono, nel novero di queste onde, i raggi X, i raggi « gamma » ed i raggi cosmici. Ed infine — quasi sempre generate per intervento dell'uomo — le onde elettromagnetiche che servono come mezzo per le comunicazioni radio, TV, radar, ecc.

Il mezzo o il sistema per generare le oscillazioni varia a seconda della gamma di frequenza interessata; così, mentre — come già abbiamo detto — per quanto riguarda tutte le frequenze acustiche o sonore si possono eccitare generatori meccanici, a frequenze più alte, segnatamente alle oscillazioni elettromagnetiche di cui sopra, il generatore è di natura essenzialmente elettrica.

Poiché sarebbe poco pratico esprimere sempre in cicli al secondo (o hertz) frequenze rappresentate da numeri così elevati (esempio: 3 000 000 o 30 000 000 di Hz) si ricorre correntemente ad espressioni di multipli; così si hanno, nell'uso corrente:

Chilohertz = kHz = 1 000 Hz
Megahertz = MHz = 1 000 000 Hz
Gigahertz = GHz = 1 000 000 000 Hz

Abbiamo sin qui adoperato tanto il termine di ciclo che quello di hertz: vogliamo ricordare che è solo quest'ultimo quello che, ufficialmente, per convenzione internazionale, deve essere impiegato. Ci esprimeremo perciò sempre, per indicare una frequenza, con il termine hertz (Hz) e con i suoi multipli. Ancora su alcune pubblicazioni tuttavia — specialmente su riviste americane — è dato di riscontrare l'uso dei termini ciclo, chilociclo, megaciclo, cui dovrebbe sempre seguire, comunque, la precisazione « al secondo ».

Nello spettro di tutte queste oscillazioni si ha una classificazione che tiene conto della frequenza, ma più che la definizione di una determinata gamma di frequenze ovviamente è il comportamento di quella gamma che maggiormente interessa ai fini pratici.



Guglielmo Marconi, dopo circa due anni di ripetute esperienze sui rivelatori di onde elettromagnetiche (« coherers ») riuscì — nel 1894 — ad utilizzarli unitamente ad un generatore collegato ad un sistema di piastre, per una trasmissione-ricezione a distanza di segnali dell'alfabeto telegrafico. Un rilevante apporto alla utilità dell'invenzione, Marconi l'ottenne subito dopo col perfezionamento del sistema aereo-terra.

Indagando sui fenomeni conseguenti a oscillazioni non percepibili ai nostri sensi, l'uomo pervenne alla possibilità di dar luogo alla generazione e utilizzazione delle onde di frequenza superiore ai 16 ÷ 20000 hertz a scopo di comunicazione a distanza: nacque la radio. Con essa ci si rese liberi dal vincolo della linea elettrica ossia dai cavi che sino allora avevano caratterizzato le comunicazioni telegrafiche e telefoniche.

Risale a Maxwell (1865) il merito di aver affermato che le oscillazioni elettriche di frequenza molto alta si possono propagare nello spazio; che la stessa luce altro non è che una manifestazione di oscillazioni elettromagnetiche e che la propagazione delle onde elettriche avviene con la velocità di quelle della luce, ossia con una velocità di circa 300 000 chilometri al secondo.

Le teorie di Maxwell furono confermate in pratica da Hertz (da qui il nome di « onde hertziane » e la definizione di misura « hertz » di cui si è detto) nel 1887, ed infine Marconi (1894), per primo riuscì a stabilire, a mezzo di onde elettromagnetiche, una comunicazione a distanza utile ai fini pratici.

Uno sviluppo veramente grandioso seguì a quella scoperta che si avvalse mano a mano di molteplici e geniali invenzioni (la valvola termoionica, la modulazione, i transistori ecc.) per pervenire ai risultati dei nostri giorni; né si può dire naturalmente che la situazione odierna rappresenti il limite conclusivo di questa evoluzione.

Propagazione delle onde

All'inizio di questa lezione abbiamo fatto rilevare come da una fonte di suoni si propaghino, in tutte le direzioni, le onde sonore, a causa della perturbazione di un mezzo elastico, ad esempio l'aria.

L'aria è dunque un mezzo necessario per consentire la trasmissione del suono: una sorgente di oscillazioni sonore posta nel vuoto (assenza d'aria) non fa giungere ai nostri orecchi suono alcuno.

È stato provato che le onde elettriche, e diverse altre perturbazioni e radiazioni, si propagano invece anche nel vuoto ed è questa un'altra particolarità notevole — oltre a quella già vista, di impossibilità di percezione diretta dei nostri sensi — che caratterizza e differenzia le due gamme.

Sotto tale aspetto, della propagazione, le onde elettromagnetiche possono essere comprese meglio se si pensa, ad esempio, a quelle della luce: anche la luce si propaga indifferentemente in presenza o in assenza dell'aria. Già si è detto anche che eguale è la velocità di propagazione e possiamo ora aggiungere che comune è anche il mezzo — perché mezzo ci deve essere — col quale la propagazione avviene. Tale mezzo, già definito un alcunché di imponderabile, elastico, esistente ovunque e impercettibile ai nostri sensi, **l'etere cosmico**, è lo spazio stesso (Einstein) e lo spazio è perciò qualcosa di concreto con sue proprietà fisiche: non esiste il nulla o vuoto assoluto.

Le onde radio, da quelle luminose differiscono soltanto per la diversa frequenza: le onde della luce presentano una frequenza più elevata.

Incidentalmente diremo anche che le diverse manifestazioni di frequenza nell'ambito della gamma di frequenza luce sono quelle che, così come avviene con le diverse frequenze acustiche che caratterizzano i suoni, ci consentono di distinguere i colori. Tali colori nello spettro dell'iride si trovano in ordine crescente di frequenza, dal rosso verso il viola.

Possiamo in conclusione ammettere che l'etere entra in vibrazione per la manifestazione oscillatoria della luce e di altre radiazioni, così come l'aria agisce nei confronti delle vibrazioni sonore.

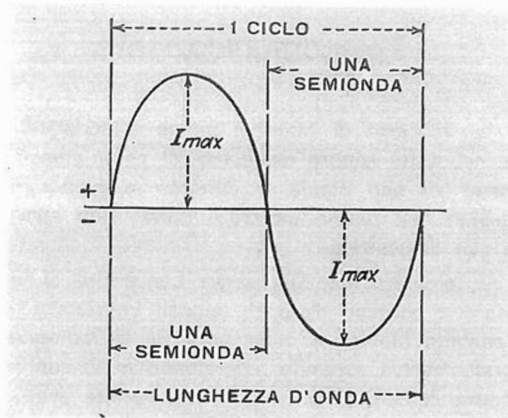


Fig. 14 - Nella manifestazione di un ciclo, l'onda si propaga. Lo spazio che essa percorre — essendo nota la sua velocità — può essere determinato: esso rappresenta la « lunghezza d'onda ». Così, ad esempio, un'onda sonora che abbia una ripetizione di 500 manifestazioni al secondo (nell'aria) ha una lunghezza di 0,67 m circa.

Lunghezza d'onda

Essendo nota la velocità con la quale le onde si propagano è possibile stabilire — per una qualsiasi frequenza o numero di hertz (cicli al secondo) — lo spazio percorso durante la manifestazione completa del ciclo (**figura 14**); il dato ottenuto può anch'esso servire per identificare quella determinata oscillazione e prende il nome di **lunghezza d'onda.**

Data una frequenza in hertz, la corrispondente lunghezza d'onda si avrà dividendo, semplicemente, la velocità di propagazione (300 000 000 metri al secondo nel caso delle onde elettromagnetiche) per la frequenza in oggetto:

$$\text{Lunghezza d'onda (in metri)} = \frac{\text{velocità di propagazione}}{\text{frequenza (in hertz)}} = \frac{300\,000\,000}{\text{frequenza}}$$

Indicando con λ (Lambda, dell'alfabeto greco) la lunghezza d'onda e con f la frequenza si potrà scrivere:

$$\lambda = \frac{300\,000\,000}{f}$$

Poiché la velocità di tutte le onde elettromagnetiche nello spazio libero è la medesima, la lunghezza d'onda diminuisce con l'aumentare della frequenza (vedi **figura 15**).

Nota una sola delle grandezze in questione è possibile ricavare le altre. Così, la frequenza **f** potrà essere conosciuta se è nota la grandezza **λ** :

$$f = \frac{300\,000\,000}{\lambda}$$

Definendo **T** la durata di un periodo

$$\frac{\lambda}{300\,000\,000}$$

avremo anche:

$$\lambda = 300\,000\,000 \times T.$$

Quanto sopra, come si è detto, è riferito alle onde elettromagnetiche.

Ove si voglia del pari procedere per le onde sonore è necessario tenere presente la diversa velocità di propagazione, così, essendo la velocità di propagazione del suono, nell'aria, di 340 m al secondo (anziché 300 000 000), un suono di frequenza 340 hertz avrà una lunghezza d'onda di 1 metro mentre per una eguale lunghezza d'onda sarebbero necessari 300 Megahertz (milioni di hertz).

Per un impiego generale le relazioni potranno perciò essere così riassunte:

$$\lambda = \frac{V}{f} \qquad V = \lambda f$$

dove **f**, come si è detto è la frequenza (in hertz), λ la lunghezza d'onda (in metri) e **V** la velocità di propagazione in metri al secondo.

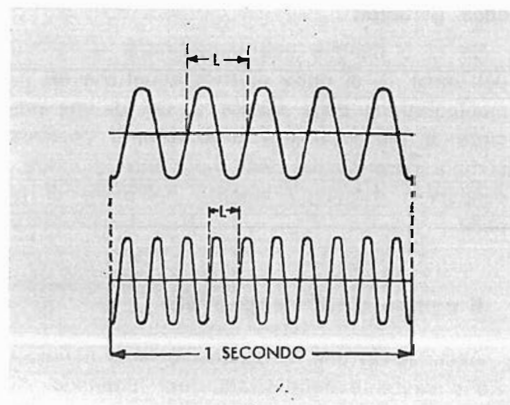


Fig. 15 - Se la frequenza dell'onda aumenta (più manifestazioni di cicli sempre nello stesso tempo di 1 secondo) diminuisce la lunghezza « L ». La lunghezza risulta accorciata, come si osserva nel caso illustrato in basso. Pertanto, frequenze alte = onde corte.

Telecomunicazioni

La scoperta di Marconi venne a soddisfare la necessità sentita dall'uomo, di poter comunicare col suo simile a distanza maggiore di quanto non permettessero i mezzi sino allora a sua disposizione.

Il telegrafo, che già aveva consentito di inviare a notevoli distanze segnali convenzionali (alfabeto Morse) e messaggi, con la radiotelegrafia veniva superato, soprattutto nelle contingenze di contatti a lunghissima portata ove si rivelava subito più economica di impianto e di manutenzione la nuova invenzione.

Qualche tempo dopo, con l'innovazione della radiotelefonia, la stessa situazione si risolveva in modo analogo nei confronti del telefono.

Inoltre, questi nuovi sistemi aprivano la possibilità di comunicazioni anche tra mezzi in movimento e comunque impossibilitati ad essere collegati con un conduttore (esempio: navi, aerei, ecc.).

Le vibrazioni caratteristiche dei suoni e della voce, trasmettendosi all'aria permettono una comunicazione a distanza ma subiscono nel mezzo, come abbiamo visto, un dato smorzamento ciò che limita notevolmente la portata utile della comunicazione stessa. Se però, le oscillazioni sonore anziché all'aria vengono affidate per il trasferimento a distanza, ad altre oscillazioni, di frequenza molto più alta — le onde elettromagnetiche, appunto — viene sfruttata non più l'aria come mezzo d'unione ma l'etere e, dato che l'etere non smorza praticamente tali oscillazioni (uno smorzamento comunque esiste, ma per altre cause), la velocità di propagazione e la portata del collegamento risultano entrambe enormemente accresciute.

Come le oscillazioni sonore — preventivamente trasformate in variazioni di natura elettrica — possano venire in certo qual modo incorporate alle oscillazioni elettromagnetiche vedremo in particolare più avanti; per ora ci basti ricordare che tale procedimento tecnico è definito col nome di **modulazione**; l'onda così « modulata » assume il particolare compito di portare l'informazione ricevuta, da un punto all'altro, da cui il nome, d'uso ormai comune, di **onda portante.**

Se vi è dunque una generazione — a cura dell'uomo — di onde elettromagnetiche ed una manipolazione delle stesse ai fini di una maggiore e più completa utilizzazione, possiamo comprendere quanto sia importante studiare e conoscere il comportamento nell'etere di tali onde.

Il campo elettromagnetico

Accendendo una lampadina inviamo nello spazio circostante delle irradiazioni luminose. Alla distanza di un metro, di due metri, di tre metri e così via saremo in grado di scorgere sempre la luce e gli oggetti da essa illuminati; correntemente diremo che vediamo ciò che si trova nel campo illuminato.

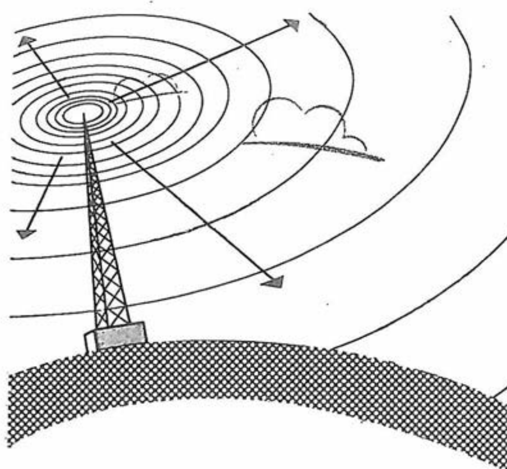


Fig. 16 - Le onde sonore o « informazioni » vengono, mediante la modulazione, abbinate — nel trasmettitore — alle onde elettromagnetiche da quest'ultimo generate. L'informazione viene portata dall'onda elettromagnetica (da cui il nome di « portante ») al ricevitore, ove ha luogo il processo inverso a quello che si svolge nel trasmettitore. Presso la trasmittente un apposito elemento — « l'antenna » — irradia nello spazio le onde elettromagnetiche.

Anche nel caso delle onde elettromagnetiche abbiamo un **campo**: si può dire che esso sia perciò alla base dei fenomeni elettrici che ci proponiamo di studiare. Il campo in questo caso non è visibile e solo con difficoltà può essere, in alcuni casi, reso tale, purtuttavia se ne possono dimostrare efficacemente gli effetti, le azioni e la presenza e, quel che più conta, prevederne il comportamento.

Di conseguenza, noi sappiamo che in un punto può verificarsi un effetto la cui causa trovasi in un altro punto, grazie al fatto che i due punti si trovano in uno stesso campo, senza che peraltro si possa scorgere alcun legame visibile.

Abbiamo sin qui definito le particolari onde che ci interessano come vibrazioni elettromagnetiche: è opportuno far osservare ora che il termine « elettromagnetico » è il risultato della fusione o accostamento degli aggettivi « elettrico » e « magnetico »; in altre parole, le onde di cui ci occupiamo sono così definite perché in realtà interessano un campo elettrico ed uno magnetico. Nell'assieme possiamo parlare dunque di campo elettromagnetico, e di onde elettromagnetiche.

Esamineremo presto la natura dei due citati campi per una buona comprensione dei relativi fenomeni.

Accenneremo ancora che nell'etere le onde elettromagnetiche vengono immesse a mezzo di una realizzazione appositamente predisposta, che tali onde diffonde o meglio irradia: si tratta

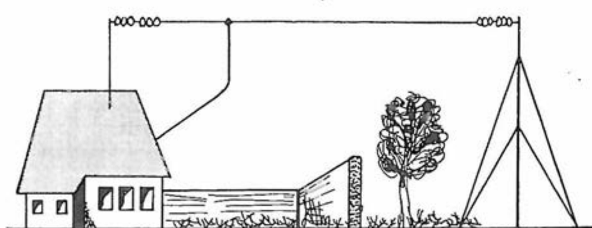


Fig. 17 - Dallo spazio le onde elettromagnetiche emesse vengono « captate » a mezzo dell'antenna ricevente. Quanto più è debole l'energia in giuoco (distanza, ecc.) tanto più esteso ed elevato deve essere il mezzo di raccolta.



Fig. 17 bis - **Antenne come quella illustrata alla figura precedente sono sempre meno impiegate in quanto i trasmettitori sono di notevole potenza ed i ricevitori di alta sensibilità. La tendenza è ora per l'installazione unica per più utenti (antenne centralizzate); si possono raggruppare diversi tipi di antenna (per onde medie, corte, TV, ecc.), rendere più intensi (amplificare) i segnali captati e distribuirli ai ricevitori variamente dislocati tramite un cavo.**

appunto di un elemento radiante (vedi **figura 16**) comunemente noto col nome di **antenna** (trasmittente).

Analogo elemento (**figura 17**) è presente al punto di ricezione: la funzione è però inversa e qui l'antenna (ricevente) ha lo scopo di raccogliere (captare) l'energia elettromagnetica che si trova nello spazio circostante, proveniente — con la propagazione — dalla trasmittente, sotto forma di onda.

La notevole energia che può oggi essere inviata, sotto forma di onde elettromagnetiche, nello spazio, e la caratteristica possibilità dei moderni ricevitori di poter essere influenzati, anche a grande distanza, da tali onde (sensibilità), ha portato alla scomparsa — nell'uso più corrente — dell'antenna ricevente così come essa è illustrata alla figura 17: in suo luogo l'antenna è spesso sostituita da un filo o conduttore assai meno esteso e talvolta — come vedremo — addirittura incorporata nell'apparecchio ricevente stesso.

Abbiamo detto che le oscillazioni o vibrazioni di natura meccanica da 20 hertz circa a 15 000 hertz (15 kHz) sono definite sonore; che da 15 000 Hz a 30 000 Hz si hanno gli ultrasuoni e infine che con i 30 000 Hz (30 kHz) iniziano le oscillazioni elettromagnetiche.

Le onde elettromagnetiche presentano una gamma molto ampia di frequenza; esse si estendono dai detti $30 \cdot 10^3$ Hz (30 kHz) sino a $3 \cdot 10^{22}$ Hz (*), passando per varie manifestazioni fisiche note, così come appare nel seguente elenco:

Onde hertziane . . .	da $30 \cdot 10^3$	a	$3 \cdot 10^{12}$	Hz
Raggi infrarossi . . .	da $75 \cdot 10^{10}$	a	$37 \cdot 10^{13}$	Hz
Luce visibile	da $37 \cdot 10^{13}$	a	$75 \cdot 10^{13}$	Hz
Raggi ultravioletti . .	da $75 \cdot 10^{13}$	a	$3 \cdot 10^{16}$	Hz
Raggi X	da $3 \cdot 10^{16}$	a	$6 \cdot 10^{19}$	Hz
Raggi gamma	da $6 \cdot 10^{19}$	a	$3 \cdot 10^{22}$	Hz
Raggi cosmici	superiori	a	$3 \cdot 10^{22}$	Hz

(*) Nello studio della radiotecnica, sia dal punto di vista teorico che da quello pratico, si incontrano spesso valori rappresentati da numeri talmente grandi (o talmente piccoli) che sarebbe alquanto scomodo scriverli per intero; per ovviare a ciò si ricorre sovente all'uso delle **potenze**.

La potenza è costituita da una « base » e da un « esponente »; è inteso che il numero di base deve essere moltiplicato per se stesso tante volte quante ne indica il numero dell'esponente.

Ad esempio, 10^2 (10 è la base e 2 l'esponente) significa il prodotto del numero 10 per se stesso (cioè $10 \times 10 = 100$); analogamente, 10^3 indica $10 \times 10 \times 10$ e cioè 1000, e così via.

Quando l'esponente è 2 si dice anche che la base è elevata « al quadrato »; quando è 3, che è elevata « al cubo ».

La potenza può servire anche ad indicare — come abbiamo detto — numeri molto piccoli. In tal caso, l'esponente è negativo, cioè preceduto dal segno meno (—).

La potenza in questo caso semplifica la trascrizione di cifre decimali con diversi zeri in quanto il valore indicato corrisponde all'esito di una divisione che viene eseguita dividendo il numero 1 per la potenza citata.

Così, ad esempio, 10^{-5} (leggi 10 alla meno 5) corrisponde a:

$$\frac{10^5}{1} = \frac{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10}{1} = \frac{100\,000}{1} = 0{,}00001$$

radiodiffusione marina	emissioni di radiodiffusione	comunicazioni a grande distanza	televisione mod. frequenza	televisione radar	ponti radio	comunicazioni spaziali	comunicazioni via satellite
30 - 300 KILOHERTZ	300 kHz - 3 MEGAHERTZ	3 - 30 MEGAHERTZ	30 - 300 MEGAHERTZ	300 MHz - 3 GIGAHERTZ	3 - 30 GIGAHERTZ	30 - 300 GIGAHERTZ	300 - 3000 GIGAHERTZ

Fig. 18 - Nell'immensa gamma delle perturbazioni oscillatorie classificate dal punto di vista della frequenza, dopo gli ultrasuoni (vedi Tabella 1 alla pagina seguente) hanno inizio le radioonde che evidentemente non rappresentano che una piccola porzione dello spettro delle oscillazioni elettromagnetiche. Nel settore della tecnica delle telecomunicazioni, le onde radio trovano differenti applicazioni secondo il valore della frequenza ad esse associato (la loro lunghezza d'onda), come appunto mostra la presente illustrazione. La gamma delle radioonde ha termine (si veda ancora la Tabella 1) làddove inizia quella dei raggi infrarossi.

Tabella 1 - SPETTRO DELLE FREQUENZE E LUNGHEZZE D'ONDA - CLASSIFICAZIONE

Raggruppamento e classificazione delle oscillazioni a seconda della natura dei fenomeni da esse provocati. Il grafico si estende dalla più bassa frequenza percepita dall'orecchio umano, alla massima frequenza dei raggi « gamma », oltre la quale iniziano i « raggi cosmici ».

	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA	
			RAGGI COSMICI
	3×10^{16} MHz	10^{-11} cm	
RAGGI GAMMA			
	6×10^{13} MHz	5×10^{-8} cm	
			RAGGI X
	3×10^{10} MHz	10^{-6} cm	
RAGGI ULTRAVIOLETTI	7.5×10^{8} MHz	4×10^{-5} cm	
	3.75×10^{8} MHz	8×10^{-5} cm	VISIONE dell'UOMO
INFRAROSSI O CALORE	3×10^{6} MHz	10^{-2} cm	
	7.5×10^{5} MHz	4×10^{-2} cm	
SPERIMENTALE E ponti radio, televisione, radar, assistenza alla navigazione aerea	890 MHz	0.337 m	
	475 MHz	0.63 m	
	216 MHz	1.39 m	TELEVISIONE
	174 MHz	1.72 m	TELEVISIONE
	108 MHz	2.78 m	
RADIO Modulazione di Frequenza	88 MHz	3.41 m	
	54 MHz	5.55 m	TELEVISIONE
RADIO ONDE CORTE e cortissime	1600 kHz	187.5 m	RADIODIFFUSIONE
RADIO ONDE MEDIE	550 kHz	545.45 m	
RADIO ONDE LUNGHE	20 kHz	15×10^{3} m	
	10 kHz	30×10^{3} m	UDITO dell'UOMO
	20 Hertz	15×10^{6} m	

ONDE HERTZIANE

Come si vede, le onde che interessano direttamente le comunicazioni radio, ossia le onde hertziane (**tabella 1**), rappresentano solo una minima parte dell'intero spettro delle irradiazioni elettromagnetiche. Nonostante questo, il loro comportamento ha modo di variare notevolmente a seconda di zone di frequenza relativamente ristrette all'interno della gamma (**figura 18**).

Queste differenziazioni hanno portato alla necessità di suddividere con convenzione internazionale le onde stesse. Ciò determina la scelta della frequenza in relazione all'impiego (portata e sicurezza di un collegamento) ed alle condizioni ambientali, geografiche, stagionali, ecc.

Secondo le convenzioni internazionali sancite dal Comitato Consultivo Internazionale delle Radio Comunicazioni nel 1953, lo spettro radioelettrico è suddiviso nelle bande di frequenza di cui alla **tabella 2.**

Ai fini pratici dell'impiego di apparecchi riceventi di radiodiffusione però si ricorre correntemente a raggruppamenti più determinanti e ristretti, cioè a quelle denominazioni che sono universalmente note come:

Onde lunghe . . . . . . da 0,15 a 0,3 MHz
(da 2000 a 1000 m)
Onde medie . . . . . . da 0,52 a 1,6 MHz
da 576 a 187 m)
Onde corte . . . . da 3 a 30 MHz
(da 100 a 10 m)
Onde ultracorte . . . . da 30 a 300 MHz
(da 10 a 1 m)

Tutta la gamma di queste frequenze comunque, nella terminologia radio corrente è denominata **radio frequenza** o anche, in contrapposto alla « Bassa Frequenza » che si riferisce alle onde sonore trasformate (vedremo poi come) in onde elettriche, **Alta Frequenza** (abbreviazione = **A.F.**).

Nella classificazione elencata come già riferito (vedi tabella 2), sono riportate le relative abbreviazioni in lingua inglese alcune delle quali, come V.H.F. ed U.H.F., stante l'influenza mondiale della tecnica americana, sono diventate di uso corrente anche da noi.

Tabella 2 - CLASSIFICAZIONE CONVENZIONALE DELLE ONDE RADIO

Sono riassunte le gamme di frequenza con indicazione del loro impiego tipico, della loro sigla e del Numero convenzionale della Banda che le identifica.

Sigla	Suddivisione	Lunghezza d'onda	Banda	Gamma di frequenza	Caratteristiche di propagazione	Usi tipici
VLF	onde lunghissime (miriametriche)	da 30 000 m a 10 000 m	4	da 10 kHz a 30 kHz	propagazione per onda di terra; attenuazione debole; caratteristiche stabili	ponti radio a lunga distanza
LF	onde lunghe (chilometriche)	da 10 000 m a 1 000 m	5	da 30 kHz a 300 kHz	simili alla precedente ma con caratteristiche meno stabili	ponti radio a lunga distanza; assistenza alla navigazione aerea e marittima
MF	onde medie (ettometriche)	da 1 000 m a 100 m	6	da 300 kHz a 3 MHz	simile alle precedenti ma con assorbimento elevato durante il giorno; propagazione prevalentemente ionosferica durante la notte	radiodiffusione
HF	onde corte (decametriche)	da 100 m a 10 m	7	da 3 MHz a 30 MHz	propagazione prevalentemente ionosferica con forte variazione stagionale e nelle varie ore della giornata	comunicazioni di tutti i tipi a media e lunga distanza
VHF	onde cortissime (metriche)	da 10 m a 1 m	8	da 30 MHz a 300 MHz	prevalentemente propagazione diretta; sporadicamente propagazione ionosferica o troposferica	ponti radio a breve distanza, televisione, modulazione di frequenza
UHF	onde ultracorte (decimetriche)	da 1 m a 10 cm	9	da 300 MHz a 3 GHz	esclusivamente propagazione diretta; possibilità di collegamenti per riflessione o tramite satelliti artificiali	ponti radio, televisione, radar, assistenza alla navigazione aerea
SHF	microonde (centimetriche)	da 10 cm a 1 cm	10	da 3 GHz a 30 GHz	come la precedente	radar, ponti radio
EHF	microonde (millimetriche)	da 1 cm a 1 mm	11	da 30 GHz a 300 GHz	come la precedente	come la precedente
EHF	microonde (decimillimetriche)	da 1 mm a 0,1 mm	12	da 300 a 3 000 GHz	come la precedente	come la precedente

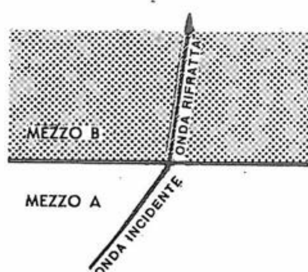


Fig. 19 - Un'onda incidente passando da un mezzo A ad un mezzo B può essere rifratta.

Onde rifratte

Nel loro espandersi le onde elettromagnetiche possono subire il fenomeno della **rifrazione** (**figura 19**).

La rifrazione non è altro che un cambiamento di direzione delle onde allorché esse passano da un mezzo ad un altro.

Si sa che la luce viene rifratta dal vetro e dall'acqua: analogamente avviene per le radioonde che attraversino due mezzi diversi, aventi diverse caratteristiche di conduttività, come ad esempio due strati di aria aventi differenti densità.

Gli strati di aria caricati elettricamente, che si trovano molto al di sopra della terra, hanno caratteristiche di conduzione diverse da quelle dell'aria che si trova proprio al disopra della superficie terrestre, e costituiscono la « ionosfera » che si trova all'incirca a 100 km di altezza, e giunge fino a circa 300 km.

Le onde radio che attraversano la ionosfera vengono rifratte e la loro direzione può essere modificata tanto da farle ritornare alla terra; dette onde, che vengono a volte chiamate « onde riflesse », raggiungono la terra a grandi distanze dal trasmettitore e rendono possibili le comunicazioni a lunga portata.

Il fenomeno è in relazione anche alla frequenza delle onde stesse: le onde lunghe e medie vi sono maggiormente interessate.

Onde riflesse

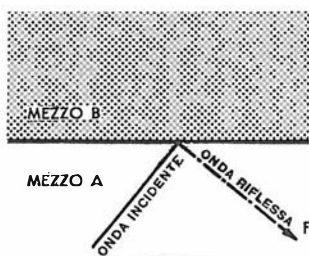


Fig. 20 - Un'onda incidente incontrando un corpo solido (mezzo B) può essere riflessa.

Le radioonde possono inoltre subire una **riflessione** da parte di corpi solidi (**figura 20**). Nelle frequenze alte (onde corte) le onde vengono immediatamente riflesse da qualsiasi corpo solido da esse incontrato, mentre nelle frequenze basse (onde lunghe), la riflessione non avviene altrettanto facilmente in quanto la maggior parte dei corpi solidi sono piccoli se confrontati con la lunghezza dell'onda stessa.

La terra riflette le onde di tutte le frequenze.

I fenomeni di riflessione della luce da parte di specchi e di oggetti lucidi, e quelli di riflessione del suono denominati « eco » sono ben noti: la riflessione delle radioonde è del tutto simile ad entrambi.

La riflessione si verifica perché un'onda elettromagnetica incidente crea delle « correnti » nel corpo che colpisce, e queste « correnti » agiscono come minuscole sorgenti di onde elettromagnetiche che, a loro volta, ritrasmettono le onde incidenti. Questo è il motivo per cui i materiali denominati « buoni riflettori » sono quelli in cui è facile indurre delle « correnti ».

La riflessione, a seconda dell'angolo di incidenza dell'onda col mezzo riflettente, può essere anche totale.

Onde difratte

Accenniamo infine alla **diffrazione**.

Poiché l'espressione « diffrazione » assomiglia a « rifrazione », e poiché entrambi i fenomeni indicano una flessione della direzione delle radioonde, è facile confondere i due termini.

Tuttavia chiariremo il concetto dicendo che diffrazione significa che le radioonde vengono deviate **attorno** ad un oggetto che si trova sul loro percorso, mentre rifrazione significa che la direzione viene modificata quando esse attraversano due mezzi di proprietà conduttive differenti.

Le onde diffratte non passano mai attraverso l'oggetto che le diffrange, mentre ciò avviene per le onde rifratte.

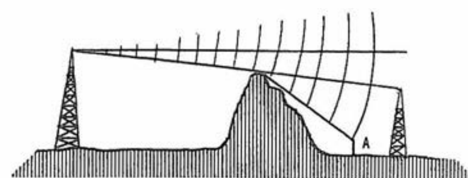


Fig. 21 - Un ricevitore sito in A può ricevere le onde di una emittente nonostante l'ostacolo interposto (montagna) grazie alla rifrazione.

Un esempio di diffrazione è costituito dalla deviazione delle increspature dell'acqua intorno ad un oggetto immerso. La diffrazione delle onde radio è del tutto simile.

Le montagne, o altre grosse barriere incontrate durante il percorso, creano le cosiddette « zone d'ombra », ma un piccolo quantitativo di onde può essere deviato in detta zona grazie, appunto, alla diffrazione (**figura 21**).

La diffrazione delle onde radio è più pronunciata alle frequenze basse, mentre le frequenze elevate subiscono solo una deviazione leggera. Vedi **figura 21 bis.**

Ciò ha reso possibile la realizzazione del « radar » per il quale vengono usate onde di elevatissima frequenza che vengono dirette sul bersaglio per poi essere da questo riflesse in linea retta. Qualora le onde risultassero diffratte intorno all'oggetto, si avrebbero dei fenomeni di eco nelle zone d'ombra, ed il funzionamento del radar, il cui scopo è quello di individuare con precisione la posizione di un oggetto, sarebbe compromesso proprio dalla diffrazione.

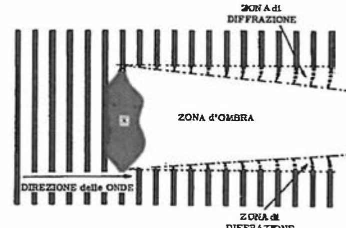


Fig. 21 bis - L'ostacolo (X) crea la sua zona d'ombra ma la diffrazione la riduce (come si è visto nella figura precedente). Con le onde medie e lunghe il fenomeno di diffrazione è più pronunciato che non con le onde corte e cortissime.

Propagazione delle radioonde

Campo elettrico e campo magnetico

Le onde elettromagnetiche, lo abbiamo accennato, sono costituite da un « campo elettrico » e da un « campo magnetico ». Questi campi si propagano « perpendicolarmente » tra di loro.

Ad ogni istante, i campi, magnetico ed elettrico, si presentano perciò nello spazio, cosí come indicato alla **figura 22**. In essa si può osservare come il campo « elettrico » sia « verticale » ed il campo « magnetico » « orizzontale ».

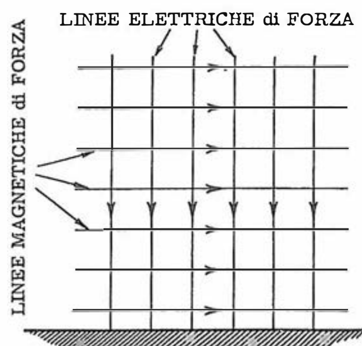


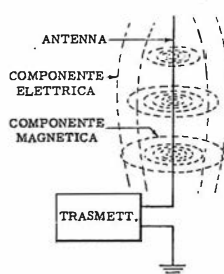
Fig. 22 - Le linee di forza elettriche e magnetiche di un'onda sono sempre perpendicolari tra loro. La direzione dell'onda è, a sua volta, perpendicolare ad entrambe. In questo caso essa è rivolta verso l'osservatore, al di fuori del foglio, e prosegue anche nel senso opposto, ossia oltre il foglio.

La direzione di propagazione dell'onda è perpendicolare ad entrambi i campi, e quindi in questa figura, al piano della pagina.

Occorre notare che il tipo di onda rappresentato è relativo ad uno tra i tanti casi possibili, potendo in realtà il campo elettrico **E** ed il campo magnetico **H** assumere direzioni qualunque, purché perpendicolari tra di loro e rispetto alla direzione di propagazione.

Alla **figura 23** è rappresentata nuovamente la propagazione delle onde elettromagnetiche, considerata però da un altro punto di vista. È ivi raffigurato un raggio (asse **r**), ossia una retta che indica la direzione di propagazione, quella direzione che nella figura precedente si è presunta verso l'osservatore.

Le due sinusoidi rappresentano i campi, elettrico e magnetico, presenti ad un dato istante in ogni punto del raggio. La sinusoide disegnata sul piano verticale indica l'intensità del **campo elettrico E**, e quella sul piano orizzontale (in prospettiva) l'intensità del **campo magnetico H**.



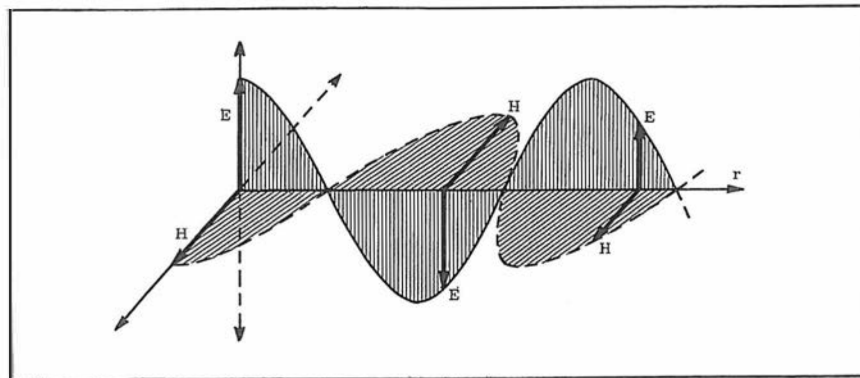


Fig. 23 - Qui sopra, il campo magnetico e quello elettrico, emessi da un'antenna verticale. Si notino le relative direzioni, ortogonali tra loro. Sotto, rappresentazione del comportamento dei due campi di un'onda elettromagnetica, e dell'onda stessa, che si propaga lungo la direzione « r ». « E » rapresenta il campo elettrico, ed « H » il campo magnetico.

Polarizzazione

Nello studio della propagazione delle onde elettromagnetiche, occorre tener conto anche del fenomeno della **polarizzazione.**

Il termine « polarizzazione » viene usato per designare la proprietà di cui godono quelle onde elettromagnetiche nelle quali i campi elettrico e magnetico vibrano sempre nel loro piano. L'onda cui si riferiscono le figure 22 e 23 è quindi un'onda polarizzata, dato che il campo elettrico ha sempre direzione verticale, ed il campo magnetico direzione orizzontale.

Poiché si assume come riferimento la direzione di vibrazione del campo **elettrico**, l'onda rappresentata si dice « polarizzata verticalmente ».

Se si ruotassero i campi di 90°, in modo che il campo elettrico si trovasse sul piano orizzontale, l'onda risulterebbe « polarizzata orizzontalmente ».

Nelle onde non polarizzate i due campi, pur permanendo sempre perpendicolari tra loro, ed alla direzione di propagazione, non vibrano sempre nello stesso piano, sia esso orizzontale o verticale, ma mutano continuamente direzione.

Oltre alla polarizzazione « piana », di cui si è detto, occorre considerare la polarizzazione rotatoria, fenomeno molto frequente nella propagazione delle onde elettromagnetiche a radiofrequenza. In questo caso, la direzione del campo elettrico ruota uniformemente, e con essa, a 90°, la direzione del campo magnetico.

La polarizzazione è un fattore molto importante per quanto riguarda la propagazione delle onde radio, in quanto si ha una notevole perdita di energia a radiofrequenza nel caso in cui il piano dell'antenna ricevente non risulti in accordo con essa. Ad esempio, se l'antenna ricevente è verticale, mentre l'onda radio è polarizzata orizzontalmente, si ha un rendimento ben poco soddisfacente.

Terrestri e spaziali

Quando un'onda radio si allontana da un'antenna emittente verticale, essa si propaga nello spazio secondo quanto indicato alla **figura 24.**

Quella parte che viene irradiata verso il basso, ossia con una inclinazione negativa rispetto al piano orizzontale, viene riflessa in parte. La rimanente, o viene assorbita dalla superficie terrestre, oppure si propaga lungo di essa, costituendo la cosiddetta **onda terrestre.**

Come si può notare, l'energia irradiata con un'inclinazione positiva (verso l'alto) continua ad espandersi, costituendo la cosiddetta **onda spaziale.**

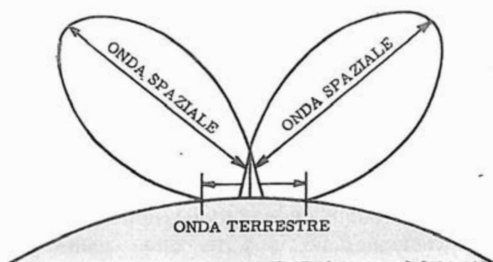


Fig. 24 - Diagramma di irradiazione delle onde emesse da un'antenna. Si hanno due direzioni di irradiazione: verso l'alto (onde spaziali), e due direzioni orizzontali (onde dirette), dette « terrestri ».

L'onda terrestre e l'onda spaziale vengono sfruttate in modo diverso nelle radiotrasmissioni.

La prima viene usata sia per trasmissioni a breve distanza, di bassa potenza e frequenza alta, sia per comunicazioni a lunga distanza a frequenza bassa e forte potenza. La ricezione diurna delle stazioni radio situate nelle vicinanze del ricevitore dipende appunto, nella gamma delle onde medie, dall'onda terrestre.

L'onda spaziale, invece, viene impiegata per comunicazioni diurne a frequenza più elevata (onde corte) ed a lunga portata. Di notte essa costituisce un metodo adatto per effettuare trasmissioni a lunga portata, con frequenze anche relativamente basse.

Onde terrestri

Le onde terrestri si dividono in: « onde superficiali » ed « onde aeree ».

Le prime si spostano effettivamente lungo la superficie terrestre, mentre le altre si propagano nello spazio, immediatamente al di sopra di essa, secondo due diversi percorsi. Uno di questi è la linea retta tra il trasmettitore ed il ricevitore, mentre il secondo, prima di raggiungere il ricevitore colpisce la superficie terrestre e ne viene riflesso **(figura 25)**.

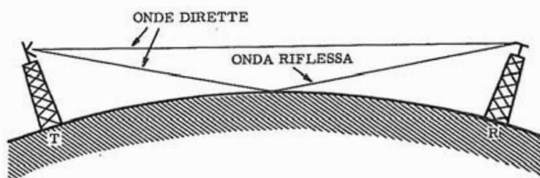


Fig. 25 - Propagazione delle onde terrestri: come si nota, una parte si propaga in direzione rettilinea, ed un'altra parte viene parzialmente assorbita, e parzialmente riflessa dalla superficie terrestre.

Poiché queste due onde seguono percorsi di differenti lunghezze, esse possono giungere al ricevitore sia in fase che sfasate (il che vuol dire, con parità di andamento e posizione, oppure no) l'una rispetto all'altra, secondo che la differenza tra le distanze corrisponda a multipli pari o dispari di mezza lunghezza d'onda. Pertanto, in dipendenza delle diverse distanze dal trasmettitore, queste due componenti possono rinforzarsi l'un l'altra oppure annullarsi. Nessuna di esse, comunque, subisce l'influenza dello strato riflettente e rifrangente, posto molto in alto rispetto alla superficie terrestre, denominato « ionosfera ».

La parte aerea dell'onda terrestre diviene preponderante quando la frequenza di trasmissione è piuttosto elevata, oppure nel caso in cui le antenne del trasmettitore e del ricevitore si trovino ad una buona altezza dal suolo. Quando entrambe le antenne — trasmittente e ricevente — sono invece, vicine al suolo, la componente riflessa risulta sfasata di 180°, a causa della riflessione, pur avendo la medesima ampiezza della componente diretta; altri sfasamenti non si determinano dato che la lunghezza dei due percorsi è approssimativamente eguale. Le due onde arrivano pertanto all'antenna del ricevitore in opposizione di fase, e si annullano a vicenda.

Per questo motivo, nella maggior parte delle trasmissioni diurne, viene usata la parte superficiale dell'onda terrestre. Questa, man mano che si sposta lungo la superficie dell'onda terrestre, induce in essa delle tensioni, le quali determinano correnti di dispersione. L'energia necessaria allo stabilirsi di tali correnti viene prelevata dall'onda superficiale, e per questo fatto l'onda si indebolisce rapidamente all'aumentare della distanza dell'antenna trasmittente. Un eventuale aumento di frequenza determina una maggiore attenuazione, per cui le comunicazioni a mezzo di onde superficiali sono limitate alle frequenze relativamente basse.

Dal momento che le caratteristiche elettriche della superficie terrestre lungo la quale l'onda superficiale si sposta permangono, in funzione del tempo, relativamente costanti, l'intensità del segnale proveniente da una data stazione non subisce, in un dato punto dello spazio, variazioni notevoli. Ciò vale, in pratica, in quasi tutte le località, ad eccezione di quelle in cui si ha una netta distinzione tra la stagione delle piogge e quella della siccità. Infatti, il diverso ammontare del grado di umidità determina forti variazioni nella conduttività del suolo, e quindi nell'assorbimento di energia da parte di esso.

La conduttività dell'acqua marina è di circa 5 000 volte superiore a quella del terreno asciutto, e questa maggiore conduttività determina una migliore propagazione delle onde superficiali; è per questo motivo che i trasmettitori ad alta potenza e frequenza bassa (onde lunghe) sono collocati di preferenza nelle zone costiere. Dato il particolare effetto delle masse d'acqua sull'onda superficiale, i trasmettitori costieri sono in grado di effettuare comunicazioni a lunga portata mediante onde terrestri a potenza notevolmente alta, con frequenza compresa tra 18 kHz e 300 kHz.

Onde spaziali

Quella parte delle radioonde che si sposta invece verso l'alto e verso l'esterno, senza venire a contatto con la superficie terrestre, costituisce l'onda spaziale, altrimenti detta « onda indiretta »; essa si comporta in modo del tutto

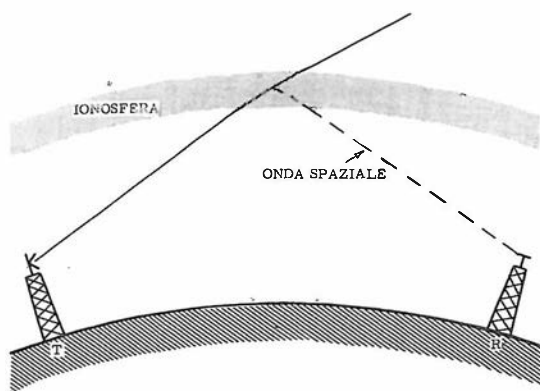


Fig. 26 - Propagazione delle onde spaziali. Le onde che l'antenna T irradia verso l'alto incontrano troposfera e ionosfera; quest'ultima può rifrangerle, tanto che il cambiamento di direzione ne consente il ritorno a terra. Tutto è in relazione però alla lunghezza d'onda, alla stagione, all'ora, ecc.

diverso dall'onda terrestre testé esaminata.

Le onde spaziali si possono suddividere in « onde troposferiche » ed in « onde ionosferiche ».

Sia le une che le altre giungono all'antenna del ricevitore, non seguendo la superficie terrestre, ma dall'alto.

Le onde troposferiche, irradiate verso l'alto dall'antenna, ritornano sulla superficie terrestre in seguito a successive rifrazioni dovute agli strati d'aria della troposfera. La troposfera è quella zona dell'atmosfera che presenta alta densità e bassissima temperatura. Le grosse formazioni nuvolose di questa zona rendono possibile, con il loro potere rifrangente, collegamenti in onde corte altrimenti non realizzabili.

Le onde ionosferiche vengono invece riflesse o rifratte dalla ionosfera, in modo tale che ritornano, con un certo sfasamento — dipendente dalla riflessione — verso la terra.

Un ricevitore situato in prossimità del punto d'arrivo dell'onda riflessa o rifratta, riceverà pertanto dei segnali intensi, anche se si trova a diverse centinaia di chilometri oltre la portata dell'onda terrestre.

La ionosfera

Tutti gli strati dell'atmosfera sono più o meno soggetti ad un particolare fenomeno detto ionizzazione consistente in una instabilità dell'equilibrio tra le cariche elettriche. Lo strato in cui tale fenomeno assume le proporzioni più rilevanti viene denominato **ionosfera.**

La ionosfera si trova nell'atmosfera rarefatta, ad una altezza compresa tra 15 e 500 km rispetto alla superficie terrestre.

Tra le principali cause che determinano la ionizzazione degli strati alti dell'atmosfera, ricordiamo le radiazioni ultraviolette del sole ed i raggi cosmici; la rotazione della terra attorno al proprio asse, la sua rivoluzione annuale attorno al sole, ed il susseguirsi delle macchie solari, contribuiscono a modificare, da istante ad istante, il numero di ioni presente. Questo, a sua volta, influisce sulla qualità e sulla portata delle radiotrasmissioni.

La differente densità di ionizzazione alle varie altezze rende possibile una suddivisione della ionosfera in strati. In realtà, la densità varia gradualmente, da strato a strato e quindi la suddivisione in strati non è, da un punto di vista fisico, molto netta; tuttavia, essa viene egualmente introdotta per comodità di discussione (**figura 27**).

L'atmosfera ionizzata che si trova tra i 15 ed i 75 km viene denominata **strato D.**

Il suo grado di ionizzazione è basso, e l'effetto sulla propagazione delle onde è minimo, se si eccettua un certo assorbimento di energia. Questo strato, essendo determinato principalmente dalle radiazioni solari più penetranti, è presente soltanto durante le ore diurne. Esso riduce notevolmente l'intensità di campo delle trasmissioni che devono passare attraverso zone di luce diurna, e ciò a causa del già citato fenomeno di assorbimento.

Lo **strato E** è costituito da quella parte dell'atmosfera che è compresa tra le altezze di 75 e 150 km.

Questo strato, che raggiunge la sua massima intensità all'altezza di 100 km circa, è molto intenso durante il giorno, e resta presente, sia pure più debolmente, anche durante la notte. La massima densità si verifica all'incirca al mezzogiorno dell'ora locale, ed è talvolta così intensa da rifrangere frequenze dell'ordine dei 20 MHz, rimandandole verso terra. Tale azione è di notevole importanza nei confronti delle trasmissione diurne a distanze superiori a 2 000 chilometri.

Lo **strato F** si estende da circa 150 km di quota fino al limite superiore della ionosfera; mentre durante la notte è presente un solo strato **F**, durante il giorno, specialmente nelle ore in cui il sole è allo zenit, esso si separa in due parti, **F1** ed **F2.**

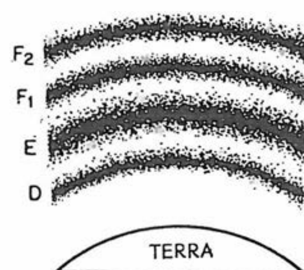


Fig. 27 - La ionosfera può essere considerata suddivisa in vari strati che si collocano, a seconda del momento, a distanze varie dalla terra. Il loro effetto cambia durante il giorno ed interessa variamente gamme di frequenza diverse.

Normalmente lo strato **F2** raggiunge la sua massima densità durante le prime ore del pomeriggio; tuttavia, in alcune zone, la densità massima si verifica in ora più tarda. In ogni modo, dopo il tramonto, i due strati **F1** ed **F2** si ricombinano per costituire nuovamente lo strato **F** propriamente detto.

In aggiunta agli strati ionizzati ora citati, che si verificano con regolarità, si producono spesso zone ionizzate mobili, all'altezza dello strato **E**, dipendenti principalmente dalla presenza di formazioni nuvolose. Tali zone sono spesso pre-

senti in numero ed intensità sufficienti a permettere delle buone trasmissioni nella gamma delle onde cortissime, a distanze normalmente irraggiungibili, e vengono denominate « zone ionizzate sporadiche ».

★ ★ ★

Siamo ora in grado di affrontare con maggiore completezza l'argomento della propagazione delle radioonde.

La ionosfera si comporta come un conduttore, ed assorbe una certa quantità di energia dalle onde elettromagnetiche che si propagano attraverso di essa. Essa si comporta inoltre come uno strato riflettente e rifrangente, rimandando parte delle onde stesse verso la terra.

L'attitudine, da parte della ionosfera, a respingere verso terra un'onda elettromagnetica, dipende dall'angolo di incidenza secondo il quale essa viene colpita dall'onda stessa, dalla frequenza di trasmissione, e dalla densità ionica. Quando l'onda proveniente da un'antenna colpisce la ionosfera, comincia, per effetto della rifrazione, a deviare dalla sua direzione di ingresso, piegandosi.

La **figura 28** illustra il processo di curvatura di un raggio di propagazione. Come si vede, posto che la frequenza, l'angolo di incidenza e lo stato di ionizzazione siano appropriati, l'onda riemerge dalla ionosfera e ritorna verso la terra.

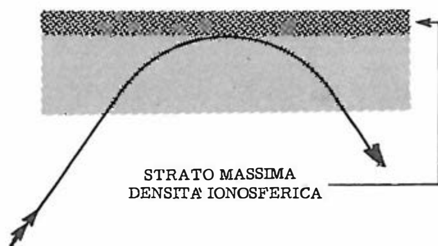


Fig. 28 - L'onda può attraversare la ionosfera ma incontrando lo strato a massima densità viene da questo rifratta fino a riemergere verso il basso. Può essere considerata così come un'onda riflessa, verificandosi in effetti l'abbinamento dei fenomeni già illustrati alle figure 19 e 20.

A parità delle condizioni ionosferiche, il processo di rifrazione dipende essenzialmente dai due elementi citati, propri dell'onda incidente: l'angolo di irradiazione e la frequenza di trasmissione. Questi due elementi influiscono « contemporaneamente » sulla propagazione dell'onda.

Effetti della ionosfera

A seconda dell'angolo di irradiazione...

Consideriamo la **figura 29** ove è raffigurata la terra **T** e la ionosfera. Supponiamo, per ora, che la ionosfera sia costituita da un unico strato rifrangente, onde semplificare la trattazione del fenomeno.

Si immagini che in **A** sia disposto un trasmettitore, e che l'antenna relativa irradii onde elettromagnetiche in tutte le direzioni. Consideriamo separatamente i raggi che si propagano con differenti inclinazioni, verticali rispetto alla superficie terrestre.

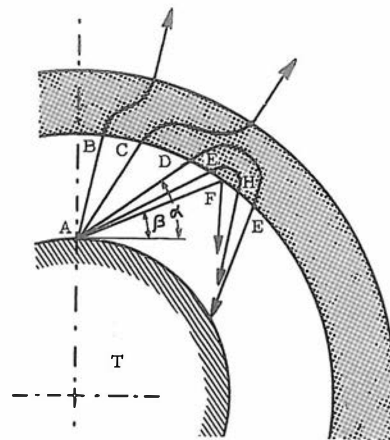


Fig. 29 - Influenza dell'angolo di incidenza sulla rifrazione. Il trasmettitore, indicato da A sulla terra T, irradia nelle direzioni B, C, D, ed in moltissime altre. Non appena le onde incontrano la ionosfera, vengono da questa rifratte, con angoli che non sempre le rimandano sulla terra. Affinché ciò sia possibile, occorre che l'angolo di irradiazione non sia superiore all'angolo « alfa » indicato in figura.

L'angolo che il raggio forma con il piano orizzontale si dice angolo di irradiazione: pertanto, il raggio di propagazione **AB** ha un angolo di irradiazione quasi massimo, ossia molto prossimo ai 90°. In tali condizioni, non appena il raggio penetra nella ionosfera, inizia un processo di curvatura, che però non è sufficiente, dato che il raggio non riesce a tornare sulla terra, ma si perde nello spazio al di fuori della ionosfera.

Anche il raggio **AC**, che pur presenta un angolo di irradiazione inferiore, subisce la stessa sorte, però viene curvato maggiormente all'interno della ionosfera. Fino a che l'angolo di irradiazione è superiore ad un certo angolo critico corrispondente al raggio **AD**, i raggi, dopo una maggiore o minore curvatura dovuta alla rifrazione, si perdono nello spazio esterno.

Il raggio **AD**, invece, durante la sua penetrazione nella ionosfera, viene curvato in modo tale da iniziare un percorso di ritorno verso la terra. Avviene ciò che abbiamo visto in figura 28.

Lo stesso fatto avviene per il raggio **AE**, se si eccettua che non è necessario che esso, per poter essere totalmente rifratto, penetri profondamente nella ionosfera. In corrispondenza di ulteriori diminuzioni dell'angolo di irradiazione, il raggio viene sempre rifratto, penetrando sempre meno nella ionosfera. Ciò fino ad un certo angolo minimo « beta ».

In corrispondenza di tale angolo vediamo in figura il raggio **AF**, che risulta retrocesso senza penetrare all'interno della ionosfera. In questo caso non si può più parlare di rifrazione, bensì di riflessione.

Poiché un'antenna emette onde in tutte le direzioni, si ha che, contemporaneamente, alcuni raggi vanno a perdersi nello spazio, mentre altri ritornano sulla terra. I primi sono quelli che vengono emessi dall'antenna secondo un angolo di irradiazione superiore all'angolo critico « alfa », e gli altri quelli che vengono emessi con un angolo inferiore ad « alfa » (figura 29).

...e della frequenza irradiata

Prendiamo in considerazione la **figura 30**. Sono ivi rappresentati tre raggi indirizzati verso la ionosfera con un medesimo angolo di irradiazione. I tre raggi hanno però frequenze diverse; precisamente è f_1 maggiore di f_2 ed f_2 maggiore di f_3.

Il raggio f_1, di frequenza troppo elevata, non viene rifratto a sufficienza, e si perde al di fuori della ionosfera. Col diminuire della frequenza i raggi subiscono la stessa sorte, fino a che si raggiunge la frequenza f_2 in corrispondenza della quale il raggio riemerge dall'interno della ionosfera.

Si può dire che, alla frequenza f_2, l'angolo di irradiazione corrisponde all'angolo critico di cui abbiamo detto. Successivamente, al diminuire della frequenza, i raggi vengono tutti rifratti fino al caso f_3, in corrispondenza del quale inizia il processo di riflessione.

La rifrazione non è il solo fenomeno che interessi la propagazione alle onde radio. Come abbiamo visto, per angoli di irradiazione inferiori all'angolo critico, si verifica il fenomeno della riflessione. Tuttavia, anche considerando angoli di irradiazione superiori a quello critico, si ha sempre una certa riflessione parziale. Si può anzi affermare che, per frequenze al di sotto di un certo valore, si manifesta una certa riflessione con qualunque angolo di irradiazione. La riflessione aumenta di giorno, in conseguenza della più alta ionizzazione, mentre diminuisce nelle ore notturne.

I fenomeni della riflessione e della rifrazione avvengono, come già detto, contemporaneamente, ed influiscono quindi entrambi sulle radiotrasmissioni. Entrambi divengono tuttavia sempre meno rilevanti all'aumentare della frequenza.

L'alto grado di ionizzazione dello strato **F2**, durante il giorno, permette un'ottima rifrazione delle onde corte le quali, come già detto, vengono assorbite in misura scarsa. A tali frequenze si rendono pertanto possibili trasmissioni diurne a lunga portata. La **figura 31** mostra come lo strato **F2** completi il processo di rifrazione, iniziato durante il passaggio attraverso gli strati **E** ed **F1**, rimandando verso terra l'onda trasmessa.

Come si può notare, le onde vengono già parzialmente deviate mentre attraversano gli strati **E** ed **F1**, ma tale deviazione non sarebbe sufficiente a farle tornare sulla terra. Pertanto lo strato **F2** è essenziale ai fini delle radiotrasmissioni di questo genere. Non si deve pensare che, dato che ad una maggiore frequenza corrisponde un minore assorbimento, le trasmissioni diurne migliorino indefinitamente all'aumentare della frequenza. Infatti, se si sale oltre un certo limite, esse non sono piú possibili, poiché le onde non vengono rifratte sufficientemente per tornare al di sotto della ionosfera, e si perdono nello spazio. Vedremo poi che questo fenomeno determina, tra l'altro, la scelta delle frequenze utili alle comunicazioni spaziali e a mezzo satelliti.

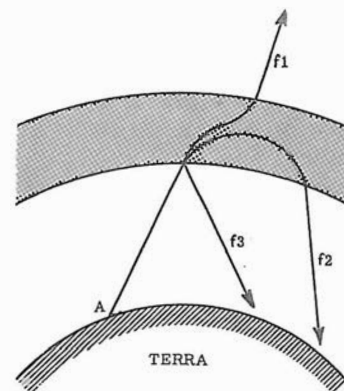


Fig. 30 - Se tre segnali (f_1, f_2, f_3) vengono irradiati da A col medesimo angolo verso la ionosfera, ma con diversa frequenza, si ha per ciascuno di essi un diverso angolo di rifrazione, tanto maggiore quanto minore è la frequenza del segnale stesso. Si vede così, che f_1 non riesce a ritornare sulla terra (frequenza troppo alta) mentre f_2 ed f_3, a frequenza più bassa sono deviati sufficientemente.

La frequenza esatta, da usarsi per comunicare con un'altra stazione, dipende dalle condizioni della ionosfera, nonché dalla distanza di trasmissione; poiché la ionosfera varia continuamente nelle sue caratteristiche, si fa uso di monogrammi e di tabelle di frequenza, onde poter scegliere, tenendo conto della distanza alla quale si vuole trasmettere e dell'ora del giorno, la più appropriata frequenza di trasmissione.

Tali tabelle vengono redatte anche in funzione delle condizioni atmosferiche del momento, in base ai dati forniti dai sondaggi che vengono effettuati continuamente sulla ionosfera (un tempo per mezzo dei cosiddetti « palloni sonda » ed ora a mezzo dei satelliti posti in orbita dall'uomo). Ad intervalli di qualche ora, vengono effettuati dei rilievi circa l'altezza e le caratteristiche degli strati ionosferici, da parte di una catena di osservatori distribuiti in tutte le parti del mondo. Questi dati vengono poi tradotti in grafici che pongono in evidenza l'elettrizzazione e la densità delle zone prese come riferimento, e vengono trasmessi a tutti gli interessati alle radiotrasmissioni.

Grazie a questa rappresentazione sistematica delle caratteristiche della ionosfera, a livello mondiale, è possibile mettere a disposizione degli sperimentatori privati, e dei servizi pubblici di radio comunicazione, tutta una serie di dati orientativi che si traducono, in pratica, in previsioni abbastanza attendibili circa le condizioni di propagazione delle radio onde.

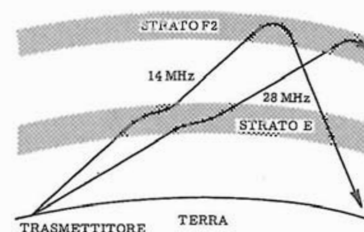


Fig. 31 - Uno strato (in questo caso F2) può completare il processo di rifrazione che ha avuto inizio in strati sottostanti (in E, ed in F1 che non compare in figura). Ciò che si verifica per frequenze alte (sui 14 MHz) non avviene però per frequenze ancora più alte (esempio, 28 MHz) con le quali il rimando più non si verifica

Rifrazioni e riflessioni multiple

Esaminiamo la **figura 32** nella quale è riportato il raggio uscente dal punto **A** con inclinazione nulla.

Supponendo che detto raggio venga riflesso o rifratto dallo strato **E**; esso ritornerà sulla superficie terrestre al punto **B**, dopo essere stato riflesso allorché giunge in **D.**

Se invece il raggio viene riflesso o rifratto nel punto **G** dello strato **F2**, ossia dello strato più esterno, esso raggiunge la superficie terrestre nel punto **C.**

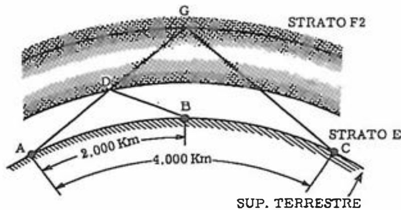


Fig. 32 - La distanza che viene coperta con una rifrazione-riflessione può variare notevolmente (anche del doppio) a seconda che il punto di rifrazione (D) si verifichi nello strato E o in quello F2 (G). Nel primo caso il raggio torna sulla terra nel punto B, nel secondo caso nel punto C.

B dista da **A** 2000 km, e **C** 4000 km. Queste sono le massime portate che si possono ottenere mediante una sola riflessione, od una sola rifrazione. È possibile tuttavia ottenere maggiori distanze di propagazione mediante il procedimento illustrato alla **figura 33.** Il raggio trasmesso dal punto **A**, viene rifratto in **B** e successivamente colpisce la superficie terrestre nel punto **C**, ove viene riflesso nuovamente verso la ionosfera. Ha quindi inizio un secondo ciclo eguale al precedente, ed il raggio giunge al ricevitore situato in **E.** È ovvio che con questo sistema di propagazione si possono raggiungere distanze notevoli.

Il tipo di propagazione di cui ora stiamo trattando non è facilmente calcolabile in termini esatti, dato che in realtà ci si allontana anche notevolmente dalla semplice rappresentazione geometrica da noi data in figura. È comunque possibile calcolare — noto il numero delle rifrazioni che si vogliono ottenere e la distanza dal trasmettitore — l'angolo di arrivo delle onde, in modo da orientare opportunamente le antenne dei ricevitori. In genere, è meglio che la ricezione avvenga con un'onda che ha subìto il minor numero possibile di rifrazioni, dato che ogni rifrazione, a causa dell'assorbimento da parte della ionosfera, apporta una notevole diminuzione nell'ampiezza del segnale.

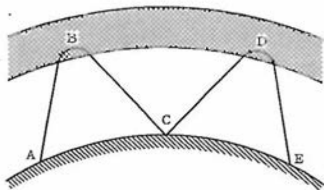


Fig. 33 - Sfruttando, dopo la prima rifrazione — riflessione verso C — la riflessione determinata dalla superficie terrestre, si ottiene una propagazione a maggiore distanza. L'onda riparte dal punto C, e, in seguito ad una ulteriore riflessione in D, si rivolge ancora verso la terra giungendo sino ad E.

Perturbazioni

Quanto detto finora circa la propagazione delle onde elettromagnetiche rimane, nelle linee generali, valido. Tuttavia esistono molte circostanze che possono provocare forti variazioni nel comportamento delle onde elettromagnetiche. Uno dei fenomeni più noti è, a questo proposito, l'evanescenza, detta anche « fading ».

Esamineremo alcuni tipi caratteristici di evanescenze che più comunemente si verificano.

Col termine « evanescenza » si designa un insieme di fenomeni diversi, i quali hanno tutti come effetto variazioni, più o meno regolari, nell'intensità del segnale captato dalle antenne dei ricevitori.

Le variazioni a lungo periodo sono dovute, di solito, al mutare delle condizioni della ionosfera alle differenti ore del giorno. Si tratta, pertanto, di variazioni periodiche, legate all'altezza del sole sull'orizzonte.

Oltre al citato fenomeno, occorre tener conto del fatto che la ionizzazione dei diversi strati varia continuamente, da zona a zona e da istante ad istante. Da ciò deriva una variabilità dell'angolo di rifrazione, nonché della percentuale di energia che, invece di essere rimandata a terra, viene assorbita; questo comporta variazioni irregolari e rapide nelle condizioni di propagazione e di ricezione. Varia inoltre, fortemente, anche lo stato di polarizzazione.

Le onde che raggiungono l'antenna del ricevitore sono solitamente costituite da un gruppo di raggi, ciascuno dei quali è stato sottoposto a diverse azioni, nel suo passaggio attraverso la ionosfera. Alcune volte capita che i diversi raggi risultino, nella maggioranza, in fase, e si ha quindi un segnale di ampiezza notevole. In altri istanti essi sono tali da annullarsi l'un l'altro in misura considerevole; e quindi si ottiene un segnale ridotto. Come risultato complessivo, si determina una variazione, con periodicità più o meno accentuata, nella intensità del campo elettromagnetico captato dall'antenna. Tale variazione può verificarsi nel corso di qualche frazione di secondo, come pure può, in altre circostanze, durare alcuni minuti.

Il fenomeno del « fading », in genere, varia notevolmente da un ricevitore all'altro, anche nel caso in cui tra essi vi siano solo pochi metri di distanza. Nei ricevitori professionali, quindi, si usufruisce spesso di piú antenne disposte ad una certa distanza l'una dall'altra, in modo che, nel caso che il segnale presente su una sia soggetto ad evanescenza, si ricorre momentaneamente ad un'altra, che determina migliori condizioni di ricezione.

Tra le cause più comuni di « fading », oltre a quelle già citate vi sono i fenomeni di annullamento determinato dall'onda terrestre che può giungere in opposizione di fase rispetto a quella spaziale (come è già stato accennato) oppu-

re un annullarsi dell'onda che giunge dopo aver subìto una sola rifrazione quando essa si somma con quella rifratta due volte.

Infine, a causa delle fluttuazioni nelle condizioni ionosferiche, come abbiamo visto in precedenza, l'intensità dell'onda che si riceve attraverso l'etere, non risulta costante, ma subisce variazioni nel tempo.

L'azione del sole è determinante per quanto riguarda le caratteristiche della ionosfera. Si comprende quindi come le tempeste o le eruzioni che avvengono nella parte più esterna del globo solare possano determinare forti perturbazioni nelle condizioni di ionizzazione dell'atmosfera terrestre, dette « tempeste ionosferiche ».

Esse sono quasi sempre accompagnate da rapide ed irregolari variazioni del campo magnetico terrestre, dette « tempeste magnetiche », anch'esse molto ricche di effetti riguardo la propagazione delle onde radio.

Il principale effetto delle tempeste ionosferiche sulle radioonde è, durante il giorno, una diminuzione nel fenomeno di assorbimento da parte dei diversi strati della ionosfera. Ciò determina un aumento nell'ampiezza del segnale ricevuto, e quindi anche nella portata del trasmettitore.

Di notte, invece, l'ampiezza del segnale è al disotto del normale, ed è paragonabile allo stesso livello normale diurno. Dato che gli strati ionizzati, di notte, possono diminuire notevolmente la loro efficacia in seguito alle tempeste ionosferiche, può capitare che le onde di frequenza più alta non possano essere ricevute, non risultando rifratte con sufficienza, se gli strati ionosferici hanno caratteristiche inadeguate.

Le tempeste ionosferiche possono variare sia in intensità che in durata. Quest'ultima può variare da un giorno a parecchi giorni. La loro ricorrenza è, salvo casi eccezionali, periodica, essendo legata a párticolari gruppi di macchie solari.

Tali macchie solari risultano rivolte verso la terra ad ogni periodo di rotazione del sole, ossia ogni 28 giorni.

★ ★ ★

Come avviene, in pratica, la comunicazione radio? Essa sfrutta — sappiamo — le onde elettromagnetiche come mezzo di collegamento tra i due punti interessati. Il problema consiste perciò, in sintesi, nel generare la oscillazione, nell'irradiarla nello spazio, nel captarla, a distanza, dallo spazio stesso, e nel renderla percepibile ai nostri sensi.

Prima di analizzare in qual modo possa risolversi il problema di trasformare opportunamente una informazione per utilizzare ai suoi fini onde elettromagnetiche atte ad essere irradiate nello spazio, riteniamo opportuno riassumere le caratteristiche di comportamento delle radioonde visto per raggruppamento di frequenze o « gamme ».

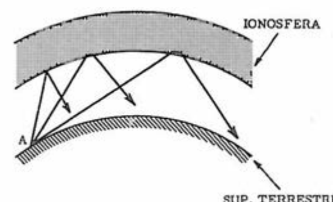
Frequenza e comportamento

Considereremo ora la propagazione di ognuna delle suddivisioni riportate nella Tabella 2, in quanto ogni suddivisione costituisce un gruppo d'onde a comportamento differente.

Questa suddivisione non è fatta solo per motivi teorici, ma anche per motivi pratici. Le radioonde di differenti frequenze richiedono differenti tipi di antenne e assai spesso, attrezzature notevolmente diverse.

Inoltre, le loro caratteristiche di comportamento determinano la scelta dei servizi più qualificanti in relazione a distanze, potenze, dati ambientali, ecc.

Onde a frequenza molto bassa (lunghissime). — Questa gamma va dai 10 ai 30 kHz.



Le onde a frequenza molto bassa hanno una lunghezza che va da 30 000 metri (estremo più basso della gamma) a 10 000 metri (estremo piú alto).

A causa della grande lunghezza, l'effetto di diffrazione è molto pronunciato e, teoricamente, un'onda lunga, sia pure di minima potenza, irradiata da un unico trasmettitore, potrebbe essere portata intorno alla terra grazie alla sola diffrazione.

Tuttavia ciò non è possibile perché la terra ed il mare assorbono gran parte della potenza, ed inoltre perché l'antenna per tali lunghezze d'onda è lunga, normalmente, soltanto una piccola parte della stessa lunghezza d'onda: ne risulta un basso potere radiante, ossia in altre parole uno scarso rendimento tra l'energia applicata e quella irradiata.

Nonostante le perdite di potenza nell'antenna e sulla superficie della terra, le stazioni radio a frequenza molto bassa possono avere una portata notevole. Alcune stazioni ad onde molto lunghe, quasi sempre di rilevante potenza, sono tenute in funzione poiché a volte è necessario o trasmettere a grande distanza o evitare le perdite che si verificano nelle frequenze più alte durante le tempeste con effetti magnetici, o durante il periodo delle macchie solari, che rendono difficili, se non impossibili, le trasmissioni con onde spaziali, quelle cioè non terrestri.

Onde a frequenza bassa (lunghe). — Questa banda si estende da 30 a 300 kHz. La relativa diffrazione delle onde terrestri intorno alla terra diminuisce mentre aumentano le perdite per assorbimento. Tuttavia, la minore lunghezza d'onda di questa banda in confronto a quella della precedente, rende possibile l'uso di una antenna più efficiente, quindi la gamma delle onde lunghe è usata per trasmissioni di una certa sicurezza a media distanza. Inoltre, poiché la portata delle onde lunghe è notevole, anche esse vengono usate nei casi in cui la trasmissione con onde spaziali è impossibile.

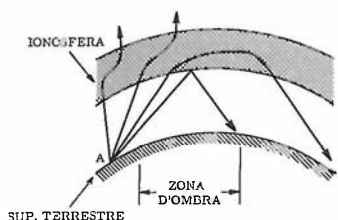
Onde a frequenza media (medie). — La gamma delle frequenze medie si estende da 300 kHz a 3 000 kHz (3 MHz).

Le stazioni trasmittenti di radiodiffusione trasmettono in questa banda, da 500 kHz a 1 500 kHz (1,5 MHz). La maggior parte delle trasmissioni con queste frequenze avviene per onde terrestri, tuttavia le onde spaziali possono essere usate, verso l'estremo più alto, durante il giorno e, per la maggior parte della gamma, durande la notte.

Se la frequenza di trasmissione viene aumentata, l'assorbimento delle onde spaziali da parte della ionosfera aumenta, fino quasi a 1 400 kHz, limite per il quale si verifica l'assorbimento massimo. Oltre tale frequenza, l'assorbimento diminuisce con l'aumentare della stessa, e la trasmissione per onde spaziali torna ad essere possibile.

Le comunicazioni a lunga portata per onde spaziali sono possibili con le onde medie, tuttavia in questo caso la frequenza appropriata è piuttosto critica; se è troppo alta l'onda penetra nella ionosfera e si perde nello spazio, mentre se è troppo bassa la ionosfera ne assorbe una gran parte e il segnale ricevuto è troppo debole per ottenere una buona ricezione. La frequenza ideale varia con il variare dell'ora, delle stagioni e dei cicli delle macchie solari a causa delle corrispondenti variazioni della ionosfera; le trasmissioni notturne richiedono frequenze più basse di quelle diurne.

Si pubblicano regolarmente, in genere in ogni Nazione, delle tabelle che prescrivono le frequenze più adatte per ogni ora, per ogni data e per ogni stagione.

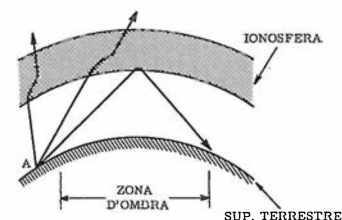


Onde a frequenza alta (corte). — Questa banda si estende da 3 a 30 Megahertz, e la relativa portata per trasmissioni ad onde terrestri va da 15 a 30 km.

La portata delle onde spaziali è invece determinata dalle condizioni della ionosfera: poiché esse variano di notte, le frequenze oltre 10 MHz in tali ore penetrano in essa e si perdono.

Di giorno, tuttavia, le frequenze fino a 30 Megahertz (ed a volte fino a 60 MHz), si propagano a grandi distanze.

Le onde di queste frequenze sono usate per comunicazioni a lunga portata tra i radioamatori di tutto il mondo. La scelta della frequenza ideale per le trasmissioni a grande distanza entro tale banda è critica e deve essere fatta con molta cura.



Onde a frequenza molto alta (VHF). — Onde Cortissime, denominate VHF dall'inglese « very high frequencies », che significa **frequenze molto alte.** Questa gamma si estende da 30 MHz a 300 MHz ossia, rispetto alla lunghezza d'onda, scende dai 10 metri ad 1 metro. Per questa ragione tali onde vengono spesso indicate come « onde metriche ». Poiché la lunghezza d'onda è molto piccola, si verifica una diffrazione leggera, per cui la portata normale è di poco al di là dell'orizzonte. A volte tali onde possono propagarsi per diverse centinaia di migliaia di chilometri grazie a particolari condizioni atmosferiche.

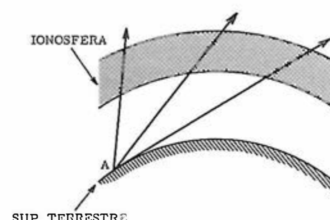
La maggior parte delle trasmissioni con onde VHF avviene per onde dirette, quindi tali comunicazioni riescono meglio quando le antenne sono collocate ad una altezza sulla superficie terrestre pari a varie volte la lunghezza d'onda. È tipico, con queste onde, il servizio televisivo.

A volte si verificano interferenze tra l'onda diretta e quella riflessa dalla terra, ma il fenomeno diminuisce con l'aumentare della frequenza, ossia col diminuire della lunghezza d'onda.

La trasmissione a grande portata con onde spaziali è possibile a volte in questa gamma (onde metriche), ma generalmente le condizioni della ionosfera sono tali che le onde passano direttamente attraverso la ionosfera con una piccola rifrazione.

Onde ultracorte (UHF). — Sono denominate UHF dall'inglese « ultra high frequencies » che significa **frequenza ultra alte.** Questa gamma si estende da 300 a 3 000 MHz (3 GHz), ossia da 1 m a 10 cm. Per questa ragione queste onde prendono anche il nome di « centimetriche ». Anche con le UHF si ha il servizio TV.

Da 620 a 780 MHz si ha la zona utilizzabile eventualmente per la radiodiffusione via satellite geostazionario. Alcuni impianti Radar funzionano in questa gamma, e tutte le trasmissioni a onde ultracorte avvengono per onde dirette. Tale sistema di trasmissione è denominato « a portata ottica » poiché la portata utile è soltanto leggermente al di là della linea dell'orizzonte.



Le antenne per onde UHF possono essere rese altamente direzionali, ossia possono concentrare l'energia in uno stretto settore come il raggio di luce proveniente da un riflettore.

Molte antenne direzionali in ricezione risultano estremamente sensibili e possono captare perciò segnali molto deboli.

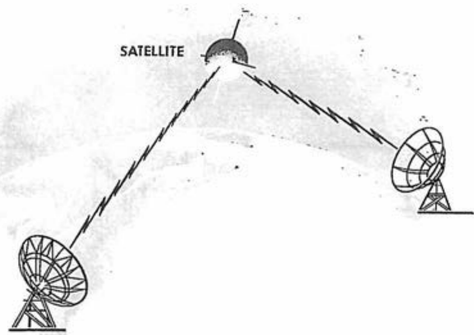
Microonde (SHF). — Dall'inglese « super high frequencies ». La banda si estende dai 3 000 ai 30 000 MHz, ossia va dai 10 cm ad 1 centimetro (onde centimetriche). Anziché esprimersi in MHz si preferisce qui indicare il GHz (Gigahertz, pari a 1 000 MHz) per cui l'estensione è da 3 a 30 GHz. La zona da 11,7 a 12,5 GHz è destinata ai servizi televisivi via satellite, in Europa ed in Africa.

La maggior parte degli impianti militari funziona in questa gamma. La lunghezza delle onde è talmente ridotta che già queste onde vengono definite, come si è detto, « microonde ».

Alle frequenze piú basse della banda le onde sono fortemente direzionali e prive di molti tipi di interferenze, mentre alle frequenze più alte esse vengono assorbite dal vapor d'acqua, dall'aria e dalle nuvole.

Onde a frequenza estremamente alta (EHF - ultramicro). — La gamma va da 30 a 300 GHz ed attualmente viene usata ancora a scopo sperimentale date le notevoli difficoltà che si incontrano nella realizzazione di dispositivi atti alla generazione, amplificazione e rivelazione di queste frequenze limite dello spettro delle radioonde, tanto è vero che, secondo le più recenti disposizioni internazionali sulla ripartizione delle frequenze, nessun servizio radio è stabilito ora oltre i 40 GHz.

Onde decimillimetriche. — Da 300 a 3 000 Gigahertz. Rientrano nella classificazione ma con esse non è attuato ancora alcun servizio.



Comunicazioni via satellite

L'esigenza di assicurare telecomunicazioni via etere quanto più sicure possibili, attuabili in qualsiasi momento, ha portato all'evolversi ed al perfezionarsi dei mezzi e dei sistemi. Abbiamo visto sin qui che la soluzione attuale è ricca di incognite e di variabili costituite in principal modo dalla frequenza d'impiego, dalla distanza, dall'angolo di irradiazione, dall'ora, dalla stagione, ecc. Ciononostante, decenni di attività hanno portato alle molteplici installazioni, su tutto il globo, che grazie all'esperienza acquisita ed ai mezzi espletati hanno reso possibile il raggiungimento dello scopo. A quest'ultimo però, a volte, si perviene — con la rete terrestre — solo con soluzioni complesse e di compromesso.

Se le onde a frequenza molto alta e le ultracorte non hanno che una parziale, pratica applicazione nell'utilizzo della ionosfera mediante rifrazione-riflessione proprio perché tale ionosfera attraversano, viene istintivo pensare ad un mezzo che al di sopra della ionosfera stessa la sostituisca per rimandare alla terra le onde ricevute, con un angolo voluto e quindi per una portata di collegamento desiderata. Ed è facile pensare che questo mezzo è stato subito identificato nei satelliti artificiali della terra allorché l'uomo è riuscito a porli in orbita.

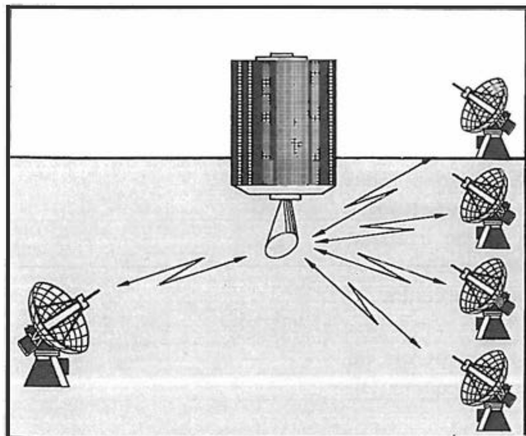
I primi satelliti furono del tipo detto « passivo ». Ciò vuol dire che, come la ionosfera del resto, si limitavano a ricevere il segnale ed a rifletterlo. Per contro, un satellite « attivo » riceve l'emissione da terra, la amplifica e, con una sua emittente la ritrasmette alla terra verso il punto di destinazione. La differenza nei risultati possibili è enorme e oggi, un satellite unicamente passivo non è più concepibile.

La frequenza di emissione verso il satellite e quella di ritrasmissione da quest'ultimo solitamente sono differenti per evitare interferenze, e per permettere a volte l'impiego di un'unica antenna.

Per far sì che il ponte tra i due estremi del collegamento sia tale per tutte le 24 ore è necessario che il satellite rimanga, rispetto alla terra in rotazione, allo stesso punto. Ciò vuol dire che esso deve compiere la stessa rotazione della terra, essere in altre parole in sincronismo con la stessa; il satellite prende il nome, in tal caso, di sincrono o « geostazionario ». La sua postazione deve essere a 36 000 chilometri di altezza sulla terra.

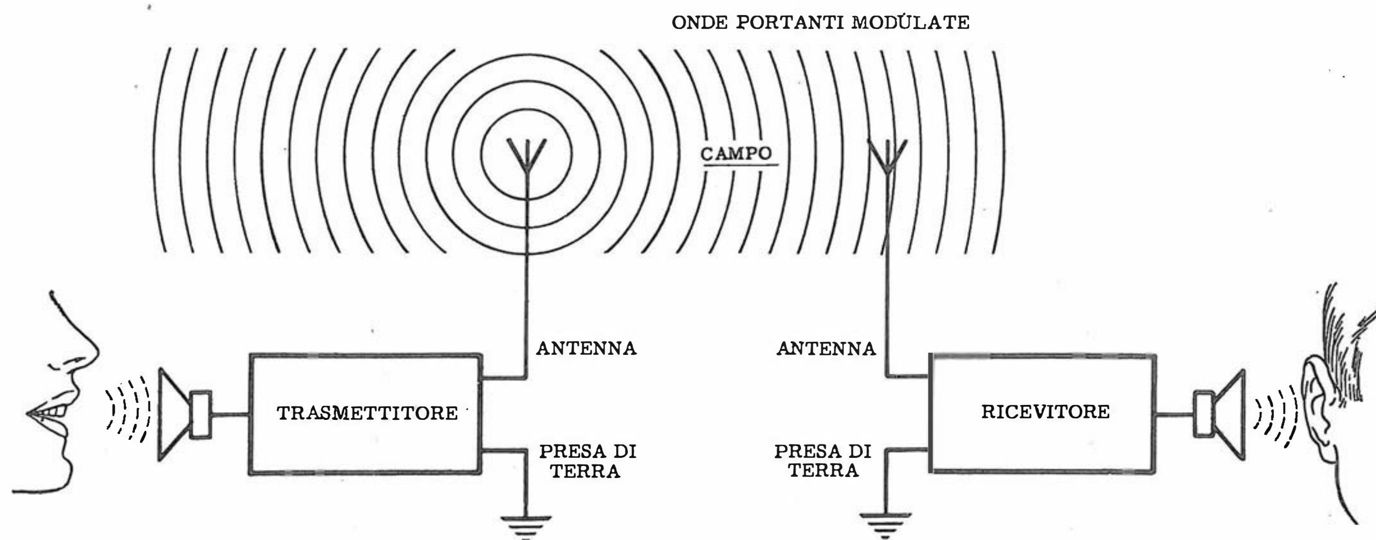
Anche l'orientamento delle antenne ha vitale importanza. L'orientamento dell'antenna di emissione da terra è un po' meno critico perché a terra è possibile usare molta potenza di emissione; per contro, la potenza di cui dispone il satellite per ritrasmettere è, per ovvie ragioni, limitata e l'angolo di orientamento dell'antenna più critico per lo sfruttamento dell'energia a radiofrequenza utile.

I satelliti funzionano sulle bande 9 e 10 (vedi Tabella 2). È previsto il lancio di satelliti funzionanti su 12 GHz che consentiranno la ricezione diretta, a terra, da parte dei privati di programmi televisivi e radio mediante gli apparecchi di produzione corrente adattati.



Per una rete nazionale di distribuzione segnali una emittente invia il programma al satellite (quello raffigurato è l'Intelsat III) che riemette con un angolo prescelto in modo da poter coprire il territorio comprendente più stazioni centralizzate. Il collegamento è possibile nei due sensi.

La trasmissione e la ricezione radio



Il circuito trasmettitore-ricevitore, considerando la presa di terra come un elemento in comune ai due dispositivi, si chiude tramite il « campo » creato nell'etere dall'emittente. Nell'etere operano le antenne, sia come mezzo radiante, sia come mezzo di captazione. Se la comunicazione è fonica (suono, parola, ecc.) è necessario « modulare » in trasmissione, e « demodulare » in ricezione, l'onda di supporto (portante).

La trasmissione

Abbiamo appreso che è possibile sovrapporre, in certo qual modo, alla oscillazione a frequenza molto alta (onda elettromagnetica) irradiata nell'etere mediante un opportuno dispositivo, l'antenna, l'oscillazione a frequenza molto più bassa (derivante da un'onda sonora), così che la prima diventa « portante » e la seconda « modulante ».

In questo modo è realizzabile la radiofonia o trasmissione per via radio dei suoni. Essa rappresenta però un perfezionamento dell'invenzione in sé in quanto, inizialmente, la comunicazione si basò esclusivamente sull'intelligenza a mezzo dei segnali (punti e linee) dell'alfabeto Morse. È facile intuire come ciò possa avvenire.

Se l'oscillazione presso la trasmittente, anziché essere irradiata in continuità, viene interrotta e ripresa secondo il sistema convenzionale di tratti corti (punti) e tratti più lunghi (linee) (il già citato alfabeto Morse, usato nella telegrafia con filo), al posto di ricezione i fenomeni conseguenti alla ricezione stessa seguiranno lo stesso ritmo e sarà facile tradurre il messaggio. Perciò, la prima idea consistette nello sfruttamento dell'onda elettromagnetica in tal senso (Marconi, 1894).

L'idea di mantenere costante la irradiazione dell'onda ma di variarne l'ampiezza secondo un andamento conseguente alle diverse frequenze della parola o di altri suoni (**modulazione d'ampiezza**) seguì, nel 1908, ad opera dell'americano R.A. Fessenden. Lo stesso fine può essere raggiunto facendo variare non l'ampiezza ma la frequenza — sempre in relazione alla voce o al suono — e si ha allora la **modulazione di frequenza.**

Esistono infine, ulteriori sistemi di modulazione che esamineremo in dettaglio con quelli principali ora accennati nelle lezioni a tali argomenti destinate. Logicamente il complesso ricevente deve essere sempre predisposto a seconda del sistema usato, onde poter compiere adeguatamente l'operazione inversa alla modulazione cioè la **demodulazione.**

In questo prima esame, sommario, della comunicazione radio e degli elementi che concorrono ad attuarla incontreremo termini e particolari che analizzeremo con assai maggior dettaglio in altre lezioni; tuttavia, l'avere prima, qui, osservato in un quadro generale, oltre che il fenomeno, anche quei mezzi che ne consentono la realizzazione, ci permetterà senza dubbio — sapendo oramai a priori quali sono i fini da raggiungere — di apprendere assai meglio sin d'ora, tutta l'esposizione relativa al graduale svolgimento della materia.

★ ★ ★

Come si è già detto, la comunicazione radio nasce in un determinato punto: **trasmettitore**; a mezzo di un sistema, **antenna**, viene irradiata a tutto lo spazio circostante; viene quindi sempre con un'antenna, captata, per pervenire al punto di ricezione: **ricevitore.**

Seguendo questo ordine osserviamo perciò un po' più da vicino i citati elementi fondamentali del sistema.

Il trasmettitore

Un trasmettitore consiste di diverse sezioni, intendendosi per sezione un assieme di organi raggruppati e coordinati allo svolgimento di una data funzione. Così, possiamo osservare in esso, anzitutto, una sezione che ha il compito di **generare l'oscillazione**: una oscillazione di natura elettromagnetica, e cioè, come sappiamo, differente dalle oscillazioni meccaniche sia nel numero di manifestazioni al secondo ossia nella frequenza, che è qui assai piú elevata, sia per la natura fisica.

L'oscillazione generata, solitamente è di debole intensità. Di proposito, ad un oscillatore non viene applicata molta energia per dare luogo all'oscillazione e per mantenerla: lo scopo di una tale precauzione è, in questo caso, quello tendente ad ottenere una stabilità massima della frequenza di oscillazione prescelta. Se si usassero potenze rilevanti nell'oscillatore si verificherebbero fenomeni di riscaldamento (trasformazione di una parte di energia elettrica in energia termica) che, alterando i valori stabiliti, porterebbero a variazioni della frequenza. È facile intuire che ciò non deve assolutamente verificarsi, sia perché al posto di ricezione si dovrebbe provvedere per variazioni analoghe al fine di non perdere il collegamento che — come vedremo — basa la sua efficacia su un'identità di frequenza, sia perché, dovendo coesistere più trasmettitori, se le loro frequenze non fossero stabili si verificherebbero disturbi reciproci denominati « interferenze ».

Le onde elettromagnetiche prodotte da un oscillatore sono di natura già perfettamente idonea a stabilire un collegamento a distanza (**figura 34**); è sufficiente che esse siano opportunamente avviate ad un sistema predisposto per irradiarle nello spazio: l'antenna.

Così agendo però, poiché i criteri realizzativi degli oscillatori sono quelli sopra accennati, di debole potenza in giuoco, accade che la possibile distanza utile raggiungibile con l'onda diretta sia eccessivamente ridotta, addirittura esigua, e perciò assolutamente insufficiente ai fini pratici.

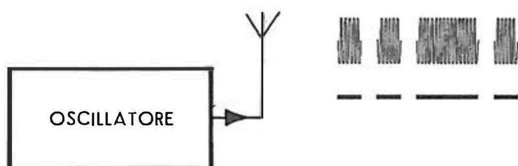


Fig. 34 - Una emittente può essere costituita dal solo oscillatore. Le onde elettromagnetiche prodotte da quest'ultimo vengono convogliate ad un'antenna, e irradiate nello spazio circostante. Se l'oscillazione viene interrotta, emettendo per tempi corti e lunghi, si può usufruire del codice Morse per i messaggi. Nell'esempio è trasmessa la lettera F.

Per questo motivo, un'altra sezione del trasmettitore è quella destinata ad **amplificare** — cioè ad accrescere in potenza — l'energia a radiofrequenza generata dall'oscillatore.

Questa amplificazione può essere ottenuta in un solo passaggio o, come assai più generalmente avviene quando la potenza finale da raggiungere è notevole, con aumenti progressivi, in passaggi successivi e graduali.

Deve essere caratteristica principale di una tale sezione di amplificazione del trasmettitore il non alterare minimamente la frequenza determinata dalla sezione oscillatrice. Il compito di un amplificatore consiste perciò nel restituire alla sua « uscita » la stessa identica onda ricevuta alla sua « entrata » aumentata semplicemente in intensità.

L'oscillatore, per dare inizio alle oscillazioni e mantenerle — così come avviene per un oscillatore meccanico — abbisogna di un apporto di energia.

L'amplificatore del pari, per svolgere la sua funzione (vedremo poi come e perché) abbisogna di energia. Questa necessità deriva dall'impiego, in essi, di meravigliosi dispositivi che hanno contribuito enormemente allo sviluppo della radio: **la valvola termoionica**, e, attualmente, affiancato a quest'ultima per gli stessi fini, **il transistore**, un organo relativamente nuovo che con la valvola compete: anch'esso però necessita — se pure in misura minore — di energia.

In entrambi i casi si tratta di energia elettrica ed è perciò evidente che in un complesso trasmittente vi sarà anche una sezione destinata a produrre la necessaria energia elettrica di **alimentazione** (alimentatore) ricavandola, per trasformazione, da energia meccanica (dinamo, alternatori) o chimica (batterie).

Modulazione

Quando il trasmettitore non si deve limitare all'emissione di messaggi telegrafici secondo l'alfabeto Morse, ma deve irradiare voci e suoni, allora — come già sappiamo — occorre modulare l'oscillazione, ossia, in linea di massima, farne variare l'ampiezza (o la frequenza) in relazione a tali voci o suoni; da qui la presenza di una **sezione modulatrice.**

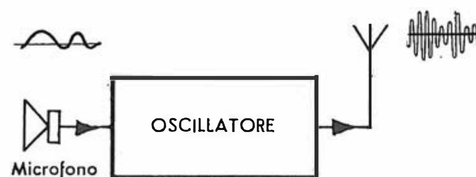


Fig. 35 - Le variazioni di corrente che un microfono genera trasformando le onde sonore in segnali elettrici, possono « modulare » l'oscillatore variando in ampiezza le onde di Alta Frequenza da esso prodotte ed irradiate.

Essa sarà formata anzitutto da un organo atto a captare i suoni e a trasformarli in correnti elettriche proporzionali in intensità e frequenza, organo che compie la stessa funzione nelle comuni comunicazioni telefoniche: **il microfono.**

Le correnti del microfono — di debole inten-

sità — potrebbero tuttavia, già modulare un trasmettitore (**figura 35**), ma occorre sapere che è necessario disporre di un certo ammontare di energia di tale natura per raggiungere un soddisfacente risultato. Grosso modo, si può dire che col sistema di modulazione d'ampiezza, l'energia di frequenza microfonica (Bassa Frequenza o audio) occorrente, è pari alla metà dell'energia che si applica come alimentazione all'amplificatore finale della sezione a frequenza elettromagnetica. (Alta Frequenza o radiofrequenza). Anche qui perciò siamo in presenza di amplificazione, che, data la natura della corrente interessata, viene detta **amplificazione di Bassa Frequenza.** Anche qui, per raggiungere la potenza finale richiesta si procede per gradi successivi, o con definizione più propria, a mezzo di molteplici stadi.

Col termine di **stadio** — termine che incontreremo assai spesso — possiamo definire **quell'unione di parti che, assieme, svolgono completamente un compito**: così, ad esempio, da quanto abbiamo sin qui appreso, rileveremo che in un trasmettitore le diverse sezioni potranno comportare ognuna uno o più stadi.

Per l'amplificazione di Bassa Frequenza i requisiti sono analoghi a quelli già citati a proposito dell'Alta Frequenza. Il « segnale » entrante (e per segnale intendiamo l'onda nelle sue diverse ampiezze e frequenze succedentesi nel tempo) deve presentarsi inalterato nella forma all'uscita dell'amplificatore: deve essere accresciuta solo la potenza.

Logicamente, la sezione amplificatrice di Bassa Frequenza adottando valvole o transistori necessita anch'essa di alimentazione. Questa necessità comporterà la presenza di una seconda sezione di alimentazione o di un adeguato aumento delle possibilità di una eventuale sezione unica per l'intero trasmettitore.

L'antenna trasmittente

L'oscillazione elettromagnetica che il trasmettitore genera, amplifica e modula (**figura 36**), ha nell'antenna il suo punto di partenza per la propagazione nell'etere. L'antenna sarà tanto migliore — e quindi di maggiore rendimento — quanto più in alto potrà essere collocata.

Essa è formata, in sintesi, da un conduttore (filo, barra, tubo ecc. di metallo) la cui lunghezza è in relazione alla frequenza (lunghezza d'onda) che deve essere irradiata; infatti l'antenna deve essere « accordata » — deve cioè entrare in risonanza — per la frequenza prescelta di lavoro perché il migliore rendimento (minore dispendio di energia) in questi casi si verifica sempre per la frequenza propria di risonanza.

L'antenna va calcolata pertanto preventivamente in funzione della lunghezza d'onda di lavoro: ove, come accade in diversi trasmettitori, sia necessario impiegare a seconda delle contingenze più di una lunghezza d'onda, si avranno dispositivi appositi atti a modificare se non fisicamente, almeno elettricamente, le caratteristiche dell'antenna per porla sempre in condizioni di assorbire — e quindi irradiare — il massimo dell'energia che il trasmettitore può fornirle.

Tale energia le viene inviata — potendo l'antenna essere collocata anche ad una certa distanza dal trasmettitore vero e proprio — a mezzo di conduttori detti « linee di trasmissione ». Le linee di trasmissione non devono irradiare energia, così come una tubazione d'acqua non deve disperdere l'acqua lungo il percorso.

Abbiamo analizzato, sino a questo punto, per grandi linee, il trasmettitore: vediamo ora, seguendo lo stesso criterio, il ricevitore.

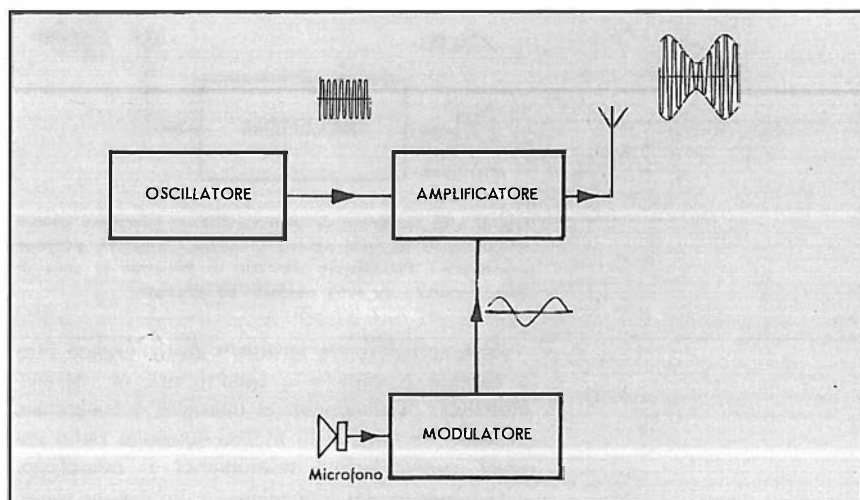


Fig. 36 - Per completare un trasmettitore si possono amplificare sia le correnti generate dal microfono (nel Modulatore), sia quelle prodotte dall'oscillatore. L'amplificazione può riguardare le 2 fonti singolarmente quanto l'onda modulata.

Il ricevitore

Le funzioni ed il comportamento di un ricevitore risultano, ovviamente, inverse a quelle di un trasmettitore. Quest'ultimo, abbiamo visto, deve provvedere alla trasformazione di un segnale sonoro e all'irradiazione dell'onda elettromagnetica: il ricevitore deve captare l'onda irradiata dal trasmettitore e provvedere alla trasformazione dell'onda stessa in segnale sonoro.

L'antenna ricevente

Così come nel trasmettitore il mezzo per immettere l'onda nell'etere è un'antenna, nel ricevitore il mezzo per captarla, cioè prenderla, dall'etere è pure un'antenna.

Già sappiamo che il trasmettitore invia le sue onde in tutte le direzioni: esso forma attorno a sé un « campo ». L'antenna ricevente si trova in tale campo e se si adotta l'accorgimento di realizzarla in modo che risuoni sulla frequenza che interessa (quella adottata dal trasmettitore) si ottiene il suo rendimento massimo, il che porta alla possibilità di disporre del segnale più intenso, compatibilmente con l'entità secondo la quale esso è presente in quel punto (intensità di campo). Lagicamente, maggiore è la distanza del trasmettitore, minore è l'intensità di campo.

Poiché si è in presenza di energie minime,

il concetto costruttivo che deve guidare la realizzazione di una antenna deve essere quello della ricerca del più alto rendimento, che si raggiunge — e lo abbiamo già detto — con la risonanza, cui però va accoppiata la migliore dislocazione possibile (altezza dal suolo e distanza da masse in comunicazione con esso) e l'isolamento massimo (minori perdite per dispersione).

Questi criteri sono da porsi però in relazione al tipo di ricevitore usato; essi valgono anzitutto come concetto teorico ed acquistano la loro maggiore importanza allorché il ricevitore è del tipo più semplice, senza stadi di amplificazione in Alta o in Bassa Frequenza perché — occorre subito dirlo — anche nel ricevitore, così come si è visto nei riguardi del trasmettitore, si può usufruire — e si usufruisce correntemente e in grado elevato — della amplificazione.

Demodulazione

Captato il massimo di energia a radiofrequenza seguendo l'accorgimento dell'impiego di una antenna risuonante sulla frequenza dell'emittente, occorre sia predisposta una funzione inversa a quella della modulazione: la **demodulazione**, più correntemente detta **rivelazione.**

In questo importantissimo e vitale stadio dell'apparecchio si può dire si esplichi ciò che è la vera e propria ricezione. Dall'onda portante si « estrae » il segnale della modulazione: l'onda elettromagnetica, che ha consentito il collegamento attraverso l'etere, più non interessa dopo tale operazione, perché è solo la Bassa Frequenza che può tramutarsi in onde sonore mediante noti dispositivi (inversi al microfono): l'auricolore telefonico, la cuffia e l'altoparlante.

Così come il più semplice trasmettitore può essere costituito dal solo stadio d'oscillazione, il più semplice ricevitore può essere rappresentato dal solo stadio rivelatore (**figura 37**). Analizzeremo più avanti lo schema di ricevitori molto semplici, svolgenti semplicemente ed unicamente la funzione rivelatrice e, ciononostante, praticamente atti ad una buona ricezione di emittenti locali di radiodiffusione.

Poiché è possibile accrescere sia l'entità del segnale captato dall'antenna, quando questo cioè è ancora costituito dalla radiofrequenza (**figura 38**), sia l'entità del segnale a Bassa Frequenza — che è quello presente dopo la demodulazione — nei comuni radioricevitori troviamo stadi di amplificazione in entrambe le sezioni (**figura 39**).

Gli schemi a blocchi riprodotti alle figure 38 e 39, rappresentano sommariamente ricevitori detti multistadi, ad amplificazione diretta, differenziandosi essi dal più semplice circuito precedentemente analizzato (figura 37) — e che viene definito ricevitore a stadio singolo essendo costituito essenzialmente da uno stadio rivelatore preceduto da un'antenna e seguito dal riproduttore elettroacustico — per la presenza di appositi circuiti, o nella sezione di Alta Frequenza o in quella di Bassa Frequenza o in ambedue.

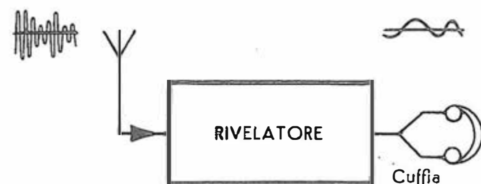


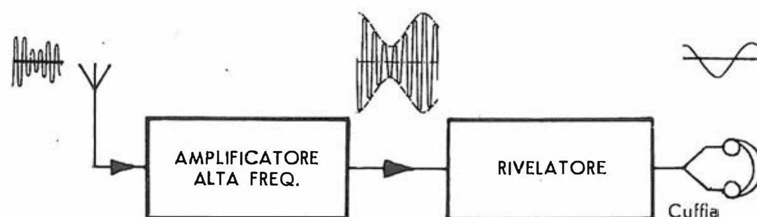
Fig. 37 - Il più semplice ricevitore è quello che svolge la sola funzione di rivelazione dell'energia captata a mezzo dell'antenna.

Con l'amplificazione in Alta Frequenza, praticamente si aumenta la sensibilità del ricevitore ossia si rendono utili anche quei segnali che, per la distanza della trasmittente o la insufficiente potenza irradiata dalla stessa, o ancora per altre cause, non sarebbero di entità adeguata ad un ascolto dopo, ben inteso, la rivelazione.

Con l'amplificazione a Bassa Frequenza si fa sì che l'accresciuta energia possa azionare, anziché un semplice auricolare o i due auricolari di una cuffia, quell'assai più pratico dispositivo (che necessita appunto di maggiore energia per agire) che è l'altoparlante.

Pertanto, se nel ricevitore incorporiamo stadi di amplificazione, ci troviamo anche qui — come avviene nei riguardi del trasmettitore — nella necessità di fornire una certa energia elettrica di alimentazione agli stadi interessati affinché valvole o transistori possano svolgere il loro compito: avremo una sezione di alimentazione che può essere costituita da batterie o far capo, come è noto, alla rete luce della corrente casalinga.

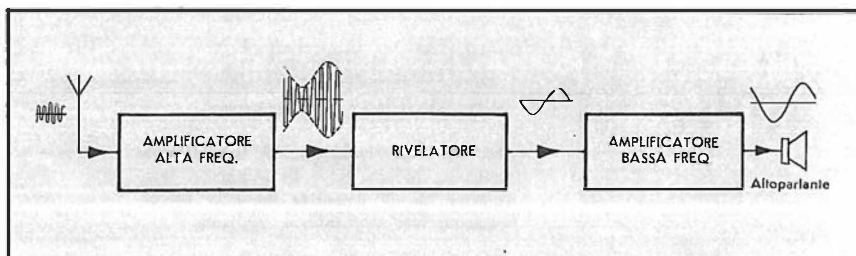
Fig. 38 - L'aggiunta di un amplificatore ad Alta Frequenza — prima cioè della rivelazione — aumenta la sensibilità, per cui nella cuffia è possibile udire anche stazioni deboli e lontane grazie all'amplificazione dei loro segnali.



Occorre ora, a questo proposito, mettere in evidenza un particolare. Abbiamo visto che nel trasmettitore tutti gli stadi richiedono un'alimentazione, ivi compreso l'oscillatore, generatore della radiofrequenza: nel ricevitore invece, lo stadio che può in certo qual modo essere contrapposto all'oscillatore, il rivelatore, non richiede, per agire, alcuna fonte di energia suppletiva.

Esso può funzionare con la sola energia captata dall'etere. Per questo motivo possono essere realizzati radioricevitori — quelli che si

Fig. 39 - Un ulteriore perfezionamento consiste nella amplificazione a Bassa Frequenza; dopo la rivelazione, le oscillazioni a frequenza fonica, amplificate, possono allora azionare un altoparlante in luogo della semplice cuffia.



limitano alla rivelazione — che non abbisognano di essere collegati alla rete-luce né incorporano batterie: sono, in altre parole, apparecchi che non « consumano » nulla, tranne l'energia captata dall'antenna, fornita dal trasmettitore.

Nello stadio rivelatore può non esservi né una valvola, né un transistore, bensì un solo organo che potremmo dire passivo e che si limita alla trasformazione dell'onda elettromagnetica senza apportare amplificazione: tale organo è denominato **diodo** (due elementi) e nei primi ricevitori era rappresentato da un cristallo (ad esempio, solfuro di piombo - galena) e da un dispositivo di contatto (**figura 40**) localizzato su di esso (baffo di gatto).

Il diodo rivelatore presenta la caratteristica di consentire il passaggio della corrente che in esso viene avviata, praticamente in un solo senso: si può in certo qual modo dire che esso è « polarizzato » cioè ha un lato positivo ed uno negativo. Nel senso di conduzione l'eventuale corrente può fluire o scorrere (immaginiamo ancora la corrente come un flusso d'acqua) facilmente: il diodo non rappresenta un ostacolo, ossia offre scarsa resistenza.

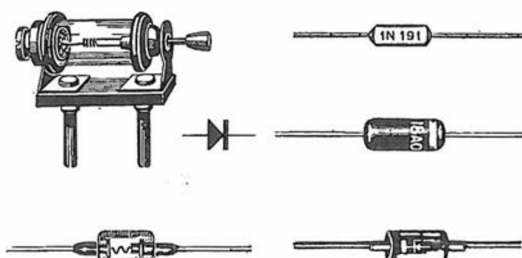


Fig. 40 - Il primo rivelatore utilizzato nell'uso pratico per demodulare le onde radio è stato un cristallo (galena) con contatto mobile, qui riprodotto. Oggi si impiegano per questo compito diodi per alta frequenza, a contatto fisso. È riportato il simbolo col quale nei disegni elettrici (schemi) viene rappresentato il diodo.

A scorrere in senso opposto invece, la corrente trova difficoltà: il diodo — per tale senso di conduzione — offre alta resistenza. Tanto maggiore è la differenza di resistenza nei due sensi, tanto più efficace è il diodo per i nostri fini. Vediamo ora come può essere sfruttato il fenomeno suddetto per demodulare un'onda in arrivo.

L'onda, come già sappiamo, è costituita da due semionde, ognuna presentante una cresta o picco che ne determina l'ampiezza massima rispetto ad un punto di livello zero. Un'oscillazione, costante, non modulata (**figura 41**), può essere raffigurata da una successione continua di onde, tutte di pari ampiezza.

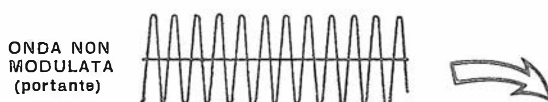


Fig. 41 - Una oscillazione, costante, non modulata viene raffigurata come una successione continua di onde, tutte di eguale ampiezza.



Fig. 42 - Rappresentazione grafica relativa alla forma d'onda caratteristica di un segnale modulante a frequenza fonica di ampiezza costante.

ONDA MODULATA



Fig. 43 - Con la sovrapposizione del segnale modulante, l'ampiezza della portante, originariamente di valore costante, viene fatta variare. Il segnale modulante può, al caso, far variare la frequenza invece dell'ampiezza.

Con la sovrapposizione del segnale modulante (**figura 42**) l'ampiezza viene fatta variare: (**figura 43**) (modulazione di ampiezza). È appunto questa l'onda che viene irradiata dai trasmettitori di radiodiffusione ad onde lunghe e medie, e che quindi si presenta, dopo il suo rapidissimo viaggio nell'etere, al dispositivo di rivelazione del ricevitore.

Quest'ultimo, come abbiamo testé detto, consente il passaggio in una sola direzione, perciò una sola delle due semionde sarà quella che troverà il senso di conduzione favorevole (in quanto l'altra è di polarità opposta) e riuscirà a passare attraverso il diodo.

All'uscita del diodo l'onda sarà dimezzata così come si osserva in **figura 44**: una tale forma d'onda viene detta anche « rettificata ». In essa è sempre presente, nella sua intera percentuale rispetto alla semionda residua, la variazione dovuta alla modulazione.

Se si provvede ad eliminare (sia ostacolandone il passaggio verso i susseguenti stadi, sia favorendone la deviazione verso un percorso o circuito di annullamento) l'Alta Frequenza residua, resterà una corrente che avrà le variazioni dovute alla modulazione, una corrente cioè di sola Bassa Frequenza (**figura 45**), capace di tramutarsi in suono con l'ausilio del riproduttore apposito (cuffia ecc.).

Fig. 45 - Le punte o « picchi » delle semionde positive risultanti dalla rivelazione individuano un'onda a frequenza fonica la cui ampiezza oscilla intorno ad un valore medio costante. In tal modo si manifesta una corrente in tutto analoga a quella di modulazione con la quale si è variata l'ampiezza della portante.

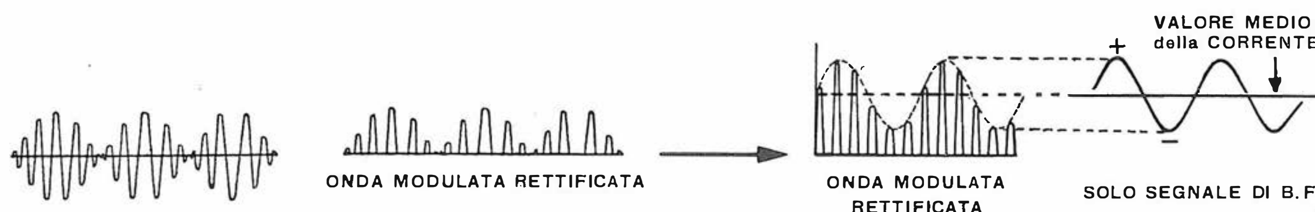


Fig. 44 - La rivelazione di una portante modulata dà una serie di semionde, tutte positive ma di ampiezza variabile conformemente alla modulazione applicata.

Principali componenti

A formare gli stadi di un trasmettitore e di un ricevitore concorrono organi diversi: ne presenteremo ora alcuni con un intento essenzialmente pratico. Il lettore imparerà a conoscerli, a individuarli, a differenziarli e, sebbene possa già imparare addirittura ad impiegarli, li ritroverà descritti con assai maggiore rigore tecnico e scientifico in apposite lezioni successive.

Così facendo, chi segue il Corso potrà subito familiarizzare con quei componenti — parti staccate — che, tra loro connessi, formano uno stadio o svolgono comunque un'azione combinata.

Seguendo questo criterio, abbiamo consentito al lettore di pervenire quasi subito a risultati concreti, vale a dire al montaggio di semplici radioricevitori; ciò contribuirà come abbiamo ripetutamente affermato, a rendere meno arida la materia, in altre parole più allettante lo studio, non solo, ma ci si accorgerà poi anche che le più analitiche lezioni future saranno facilmente seguite perché i soggetti saranno organi e fenomeni che già in pratica si avrà avuto modo di incontrare.

Parleremo qui di organi essenzialmente destinati ai radioricevitori anche se essi, assai spesso, fanno parte di stadi relativi a sezioni di trasmettitori.

Una differenza tra i due impieghi porta solo ad una differenziazione — in linea di massima — nelle dimensioni. Nei trasmettitori si ha a che fare quasi ovunque con correnti, ossia con energia, di assai maggiore entità di quanta non se ne incontri in alcun ricevitore: le parti di un trasmettitore saranno perciò dimensionate di conseguenza e si presenteranno, logicamente, con maggiori dimensioni e ingombri.

Il riproduttore

Il segnale che ha attraversato il diodo demodulatore, e dal quale è stata eliminata la residua Alta Frequenza, rappresenta la sola modulazione, vale a dire le variazioni elettriche corrispondenti ai diversi suoni captati dal microfono.

Disporremo, in altre parole, di tensioni (di varia ampiezza) a frequenza pari a quella del suono che le ha generate (Bassa Frequenza). In quanto oscillazioni elettriche, noi non possiamo udirle: occorre allora ritrasformarle in oscillazioni di natura meccanica (suoni) che il nostro orecchio è invece in grado di percepire.

Provvede a ciò un organo che, genericamente, definiremo « riproduttore ». Ne analizziamo uno tra i più comuni, illustrato nei suoi principî di funzionamento alla **figura 46.**

È nota a tutti la più evidente manifestazione del campo magnetico: l'attrazione che esso esercita sul ferro. Più avanti vedremo che se una corrente percorre un conduttore o, meglio ancora, una bobina, si crea un campo magnetico che è in diretto rapporto con l'intensità della corrente. Pertanto, se la corrente varia — anche molto spesso e con notevole entità — del pari varia il campo magnetico.

Stante questa premessa, è facile intuire che una laminetta di acciaio collocata in prossimità di un tale campo magnetico in maniera da subirne l'influsso, predisposta in modo — data una certa elasticità — da poter vibrare, effettuerà dei movimenti (oscillazioni) di avvicinamento (per attrazione) e di allontanamento (per elasticità) nei riguardi della bobina (e, meglio ancora, del suo nucleo) sede del campo.

Questi movimenti rispecchieranno fedelmente le variazioni di intensità e di frequenza della corrente circolante nell'avvolgimento: se la corrente in questione è quella ottenuta dalla demodulazione, la Bassa Frequenza darà luogo — mediante le vibrazioni della lamina — ai suoni originali della trasmissione.

Un dispositivo così realizzato prende il nome di riproduttore magnetico. Costruito secondo modeste dimensioni (da avvicinare all'orecchio) esso è precisamente l'auricolare del comune telefono.

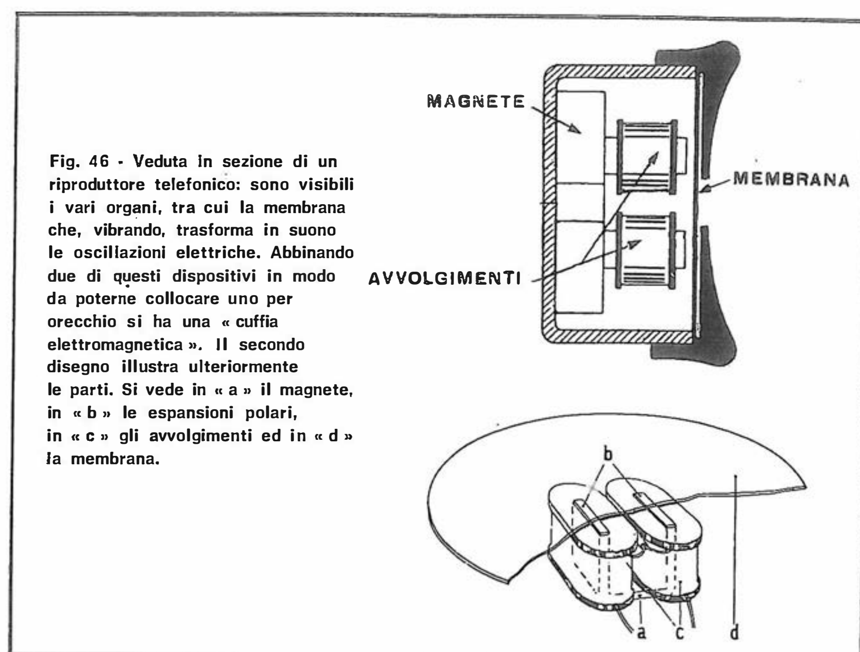
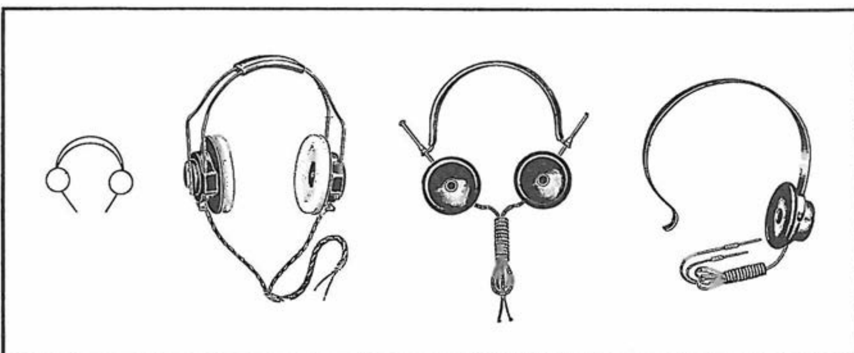


Fig. 46 - Veduta in sezione di un riproduttore telefonico: sono visibili i vari organi, tra cui la membrana che, vibrando, trasforma in suono le oscillazioni elettriche. Abbinando due di questi dispositivi in modo da poterne collocare uno per orecchio si ha una « cuffia elettromagnetica ». Il secondo disegno illustra ulteriormente le parti. Si vede in « a » il magnete, in « b » le espansioni polari, in « c » gli avvolgimenti ed in « d » la membrana.



Tipi vari di cuffie. Questi riproduttori del suono possono essere anche monoauricolari, per dar modo a chi ascolta di udire anche i suoni dell'ambiente. Possono essere magnetiche, dinamiche, piezoelettriche: vedremo più avanti tali differenze. Negli schemi la cuffia è rappresentata col simbolo qui sotto riprodotto.

Abbinando due riproduttori magnetici in maniera da poterli mantenere comodamente uno per orecchio, si ha la « cuffia ».

Per quanto i successivi perfezionamenti abbiano portato alla realizzazione di cuffie capaci di prestazioni qualitative assai migliori di quelle magnetiche (vedremo ciò occupandoci della riproduzione ad alta fedeltà), una cuffia di vecchio tipo risulta tuttora di insospettata utilità in un modesto laboratorio. Essa rappresenta, in effetti, uno strumento sensibilissimo col quale si possono rilevare la presenza di tensioni minime, e anche la loro frequenza se quest'ultima rientra nella gamma dei valori fonici (ad esempio, ronzii, ecc.), distorsioni, ecc. Deve essere scelta ad « alta impedenza » e cioè con un valore di 2 000 o 4 000 ohm almeno; il suo costo è modesto ed è, ripetiamo, pienamente giustificato perché per certi usi la cuffia equivale ad un sensibile e ben più costoso microamperometro (sensibile strumento di misura).

Infine, se ci si vuole cimentare nella costruzione di ricevitori elementari, semplici, utili per chi vuole fare i primi approcci onde familiarizzare con la radioricezione, la cuffia elettromagnetica è addirittura indispensabile.

Realizzando il riproduttore con organi di maggiori dimensioni ed applicando alla lamina vibrante un cono di carta, si ottiene un « altoparlante elettromagnetico» (**figura 46 bis**), una volta molto in uso, ma oggi abbandonato e sostituito da altri tipi che, pur basandosi anch'essi sugli effetti del magnetismo, consentono soprattutto una riproduzione di maggiore fedeltà (suoni riprodotti più corrispondenti ai suoni originali) e maggiore potenza d'esercizio. Vedremo tutto ciò ampiamente in una lezione futura.

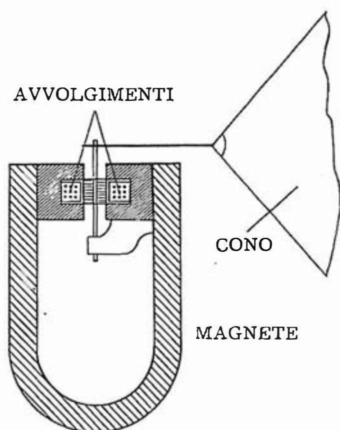


Fig. 46 bis - Il principio della lamina vibrante per effetto magnetico (cuffia) ha suggerito la soluzione del problema tendente ad una più ampia e comoda audizione; i primi altoparlanti erano tutti del tipo magnetico, con asticella vibrante e cono ad essa applicato.

Naturalmente, per il funzionamento di un altoparlante, data la maggiore massa in movimento, occorre maggiore energia di quella necessaria ad una cuffia. Il segnale disponibile dopo la rivelazione — che è sempre di modesta entità — non è in grado di far agire con sufficiente efficacia la membrana di un altoparlante. Occorre quindi, in ogni caso, amplificarlo. Vedremo presto come questa amplificazione possa essere ottenuta.

Antenna e circuito risonante

L'antenna, invero, solo in alcuni casi fa parte del ricevitore vero e proprio. Tuttavia, sia perché la tendenza ad incorporarla in esso si generalizza, sia perché con gli apparecchi più semplici l'antenna giuoca un ruolo di rilevante importanza, è opportuno che siano già esposte qui alcune nozioni che la riguardano.

Il massimo di energia a radiofrequenza viene captato da un'antenna per la frequenza propria di risonanza, come abbiamo già detto; tale frequenza può essere preventivamente calcolata (con approssimazione) e ne consegue che una antenna può essere costruita secondo determinate dimensioni (lunghezza) onde ottenere il migliore rendimento su di una data lunghezza d'onda.

Sappiamo però che, in pratica, un ricevitore non viene mai limitato alla ricezione di una sola frequenza: esso copre in realtà un certo campo o zona o gamma di frequenza: sarebbe necessario allora ad ogni variazione di stazione da ricevere far corrispondere una variazione nella lunghezza dell'antenna. Questa procedura, tutt'altro che pratica, specialmente per le antenne esterne, può fortunatamente essere evitata. Per evitarla, pur senza modificare le dimensioni fisiche dell'antenna, se ne modificano le caratteristiche elettriche: il risultato è pressappoco pari e ad esso si perviene con relativa facilità, come ora vedremo.

Tutto questo fa sì che, dovendo erigere una antenna ricevente, non ci si debba preoccupare molto per un calcolo preciso nonché per le sue precise caratteristiche elettriche intrinseche: sarà quasi sempre possibile portarla, elettricamente, in risonanza per la frequenza interessata.

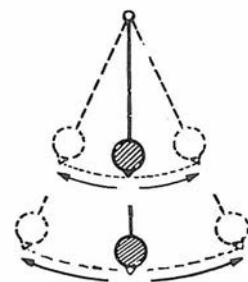


Fig. 47 - Modificando le caratteristiche dei componenti di un generatore di oscillazioni si varia la frequenza di oscillazione; così, in un pendolo, l'aumento o la diminuzione della lunghezza dell'asta determina oscillazioni più o meno ampie (più o meno lente = frequenza minore o maggiore).

Un dispositivo meccanico che oscilli, quale un pendolo o un diapason, ha nelle sue caratteristiche fisiche (lunghezza, massa, peso ecc.) gli elementi determinanti la sua frequenza di oscillazione o di risonanza: modificando l'una o l'altra di dette caratteristiche viene modificata la frequenza di risonanza (**figura 47**).

Sappiamo che, portandoci verso frequenze molto più elevate di quelle ora citate, non è più possibile generarle con dispositivi di natura meccanica in quanto si entra nel campo dei fenomeni elettromagnetici. La generazione di oscillazioni elettromagnetiche è opera del passaggio di correnti elettriche in determinati percorsi — detti circuiti — presentanti caratteristiche elettriche opportune. Queste caratteristiche, che per analogia possiamo paragonare alle caratteristiche fisiche dell'oscillatore meccanico, sono: **l'induttanza** e **la capacità.**

Modificando l'induttanza o la capacità di un circuito oscillante modifichiamo la sua frequenza di risonanza, tanto se esso è attivo in maniera diretta per irradiare (oscillatore) quanto se è semplicemente passivo e cioè predisposto per risuonare in virtù di energia proveniente da un oscillatore. La variazione di induttanza e di capacità ha quindi un effetto analogo alla variazione delle dimensioni fisiche di un pendolo o di un diapason.

Un'antenna non è altro che un circuito elettrico presentante una propria induttanza ed una propria capacità: è per questo fatto che essa entra in risonanza ad una determinata frequenza di oscillazione elettromagnetica che è la risultante della combinazione di valori dei due elementi.

Ora, è opportuno sapere che induttanza e capacità possono essere create, diremo così, artificialmente. In altre parole, in radiotecnica si dispone di organi rappresentanti un determinato valore di induttanza e di organi rappresentanti un determinato valore di capacità: essi sono rispettivamente **gli induttori** ed **i condensatori.**

Aggiungendo un induttore (questo termine è poco usato e si suol dire, in suo luogo « induttanza », termine che viene a indicare così anche l'organo oltre che la funzione) o un condensatore al circuito di un'antenna, possiamo variarne ampiamente l'induttanza e la capacità. Ove si aggiunga poi che i due citati organi sono solitamente costruiti in modo da presentare essi stessi un valore variabile con facilità, a scelta, si comprenderà che un'antenna può essere portata a risonanza su un grande numero di lunghezze d'onda — o per meglio dire — su una intera gamma, offrendo sempre il vantaggio della risonanza, ossia il maggiore rendimento per la frequenza in quel momento accordata.

Possiamo perciò concludere che, mediante induttanza oppure con capacità aggiuntiva o mediante entrambe, è dato di portare a risonanza su di una frequenza voluta un'antenna qualsiasi.

Esaminiamo perciò — sempre da quel punto di vista essenzialmente pratico che ci consente di familiarizzare con essi — questi due importantissimi organi che, come vedremo in seguito, svolgono anche numerosi altri compiti nei complessi circuiti delle apparecchiature elettroniche.

L'induttanza

L'esame sommario che faremo è limitato per ora, ben inteso, a ciò che riguarda l'impiego di questo componente nei più semplici ricevitori radio.

Tra i conduttori di elettricità si può stabilire una graduatoria secondo la loro attitudine a condurre: in essa figurano con buone caratteristiche i metalli; tra i metalli, l'argento e il rame si dimostrano conduttori ottimi.

Pertanto, se vogliamo far passare la corrente in modo continuo in un dato percorso desiderando incontrare nello stesso tempo la minore perdita possibile di tale corrente (perdita che consiste in una trasformazione in calore), adotteremo un conduttore metallico, ad esempio rame: per comodità di impiego e maneggevolezza potremo ricorrere infine al rame sotto forma di filo che appunto a questo scopo viene prodotto dall'industria nei diversi tipi e diametri necessari alle varie esigenze.

Per i motivi sopraddetti un'antenna, ad esempio — elemento che deve condurre la corrente tanto in trasmissione che in ricezione — è sempre realizzata con un buon conduttore (rame o bronzo) sotto forma di filo o di treccia.

Quando la corrente percorre un conduttore, anche se ottimo come tale, attorno al conduttore stesso si formano delle linee magnetiche circolari costituenti un campo magnetico (**figura 48**). Se la corrente diventa più intensa, più intenso diventa il campo magnetico; è da notare subito che il campo magnetico oppone una certa resistenza alle « variazioni » della corrente.

Ove queste variazioni esistano, così come è nel caso delle correnti a radiofrequenza che variano secondo una frequenza molto elevata, un

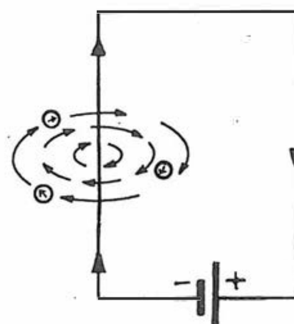


Fig. 48 - La corrente (qui erogata dalla pila di cui si riporta il simbolo schematico con le « polarità » + e —) percorrendo un conduttore determina intorno ad esso un campo costituito da linee di forza magnetica visualizzate dalle frecce concentriche.

conduttore da esse percorso dà luogo ad una opposizione alla corrente che lo percorre. Si dice allora che il conduttore, o il circuito in cui tale fenomeno di opposizione alle variazioni della corrente si verifica, **presenta una induttanza** o **auto-induttanza.**

Nel campo magnetico formantesi si immagazzina, durante mezzo ciclo, dell'energia che durante il mezzo ciclo seguente (opposto di polarità) viene restituita.

Non è da credere che una tale caratteristica sia a carattere negativo: essa viene anzi frequentemente sfruttata per ottenere volute risonanze di circuiti elettrici in quanto la risonanza — come abbiamo già detto — è la risultante dell'induttanza e della capacità.

L'autoinduzione di un conduttore rettilineo è molto piccola. Se è necessario accrescerla si può farlo disponendo il conduttore o filo a spire affiancate e avvolgendone un certo numero. In questo caso le linee di forza magnetica che sono attorno al filo di una spira agiscono anche sul filo delle spire vicine, contribuendo ad un aumento generale dell'induttanza (**figura 49**).

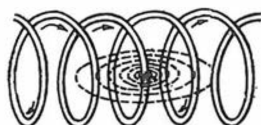


Fig. 49 - Se il conduttore della figura precedente anziché essere rettilineo è avvolto a spire affiancate, esso determina un campo magnetico più intenso in quanto i singoli campi delle varie spire si sommano a vicenda, come mostrano le linee di forza.

Diremo anzi, che l'induttanza cresce col quadrato del numero di spire; cresce maggiormente quanto più vicine sono le spire tra loro e quanto maggiore è il loro diametro. Nella nostra pratica corrente, le induttanze così realizzate vengono chiamate « bobine di induttanza » o più semplicemente « bobine ».

All'interno delle spire, ossia della bobina, passa l'intero flusso delle linee magnetiche (**figura 50**); è possibile agevolare questo passaggio, accrescendo in tal modo l'efficacia della bobina, ponendo in tal punto del materiale (come nucleo) che meglio dell'aria si lasci attraversare dal flusso magnetico. La scelta di questo materiale dipende dalla frequenza della corrente: così, differenziantisi sia per la forma che per il materiale costituente il nucleo avremo bobine per l'Alta Frequenza e bobine per Bassa Frequenza.

Le **figure 51**, **52** e **53** riproducono alcuni tipi di bobine per Alta Frequenza tra i più correnti.

Variando la posizione del nucleo (pratica spesso seguita per le bobine di Alta Frequenza, tanto che il nucleo stesso viene filettato, sì da essere avvitato o svitato dal supporto del filo) si può far variare il valore dell'induttanza senza

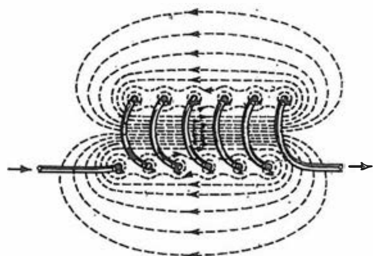


Fig. 50 - Le linee di forza hanno la loro densità massima all'interno di una bobina. Per aumentare la densità si può introdurre all'interno un nucleo di materiale che meglio dell'aria conduca il flusso magnetico.

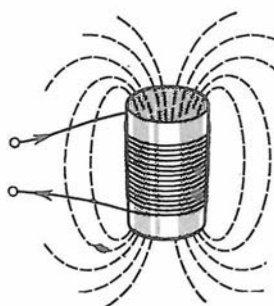


Fig. 51 - Bobina costituita dall'avvolgimento di un conduttore isolato su di un supporto isolante; è tratteggiato il percorso del flusso.

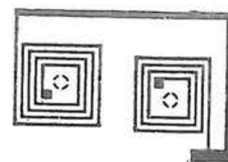


Fig. 52 - Se il numero di spire necessario non è elevato, la bobina può essere ricavata, unitamente ai conduttori che la uniscono agli altri elementi ed uniscono questi tra loro (collegamenti) da una piastra di rame col metodo della fotoincisione; si tratta dei « circuiti stampati » di cui vedremo più avanti.

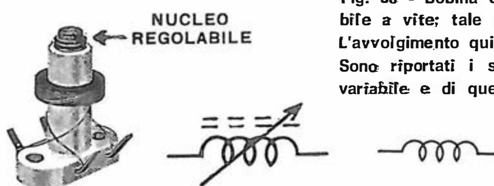


Fig. 53 - Bobina con nucleo ferromagnetico regolabile a vite; tale regolazione ne varia l'induttanza. L'avvolgimento qui è del tipo detto a «nido d'ape». Sono riportati i simboli schematici dell'induttanza variabile e di quella fissa.

dover modificare il numero di spire.

All'introduzione completa del nucleo corrisponderà il valore massimo di induttanza. Può però anche verificarsi il contrario se il nucleo anziché essere composto da un materiale che agevola il flusso senza dar luogo a perdite (si adottano materiali appositi costituiti da un impasto di polvere di ferro e polvere aglomerante, isolante) è formato da semplice metallo (esempio ottone, argento, alluminio) che trasforma il flusso in energia termica riscaldandosi per il suo passaggio. In tal caso l'induttanza, anziché aumentare con l'introduzione del nucleo, diminuisce; diminuisce anche il rendimento.

Capacità

L'altro elemento che è parte attiva, in unione all'induttanza, di un circuito oscillante è la capacità, realizzata quando occorre, sotto forma di condensatore (a valore fisso o a valore variabile).

Vi è poi un terzo elemento — come vedremo — nei circuiti, elemento passivo, denominato resistenza. Pertanto i tre componenti basilari di un circuito elettronico sono: l'induttanza, la resistenza e la capacità.

L'energia elettromagnetica — l'onda radio — viene trasmessa attraverso lo spazio, alla velocità della luce, mediante l'azione simultanea di due campi — come abbiamo già accennato — quello magnetico e quello elettrico.

Mentre l'induttanza si riferisce esclusivamente al campo magnetico, in quanto la corrente che scorre in un conduttore crea intorno ad esso un campo magnetico, la capacità si riferisce esclusivamente al campo elettrico, campo che si produce a causa della tensione.

Se si collegano due pezzi di filo ai poli opposti di una batteria (generatore di corrente

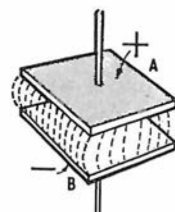
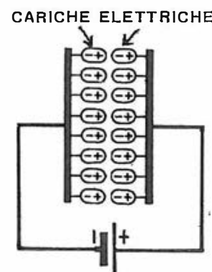


Fig. 54 - Due lamine metalliche A e B (armature), affacciate ed isolate tra loro (dal dielettrico), formano quel componente elettrico che prende il nome di condensatore.

Fig. 55 - Applicando alle lamine di un condensatore una d.d.p. si determina la presenza di cariche elettriche nello spazio interposto.



elettrica e pertanto di tensione), tenendoli ad una certa distanza, tra di essi si produce un campo elettrico: avremo realizzato in tal modo un semplicissimo condensatore.

Un condensatore consiste infatti di due conduttori — armature — separate da un materiale isolante: dielettrico (**figura 54**). Tale materiale può essere aria (come nel caso citato), vetro, mica, carta, plastica, olio, ossido, o altro. Quando alle due armature viene applicata una differenza di potenziale, tra di esse si produce un campo elettrico che ha sede nel dielettrico (**figura 55**). Così agendo il condensatore si carica.

Il condensatore viene, a volte, definito correntemente anche col termine di « capacità ». Il suo compito consiste nell'immagazzinare l'elettricità sotto forma di un campo elettrico, per cui il termine risulta appropriato.

Allontanata la sorgente di tensione, il condensatore, carico, può restare tale per molto tempo. Se però, le sue armature vengono poste in contatto tra loro a mezzo di un conduttore, su tale conduttore si effettua la scarica o restituzione di energia da parte del condensatore.

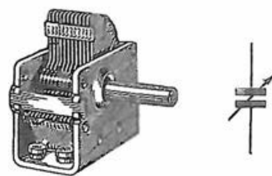
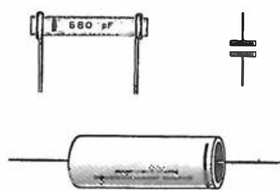


Fig. 56 - Condensatore variabile mediante la rotazione del perno, solidale con le armature mobili. Rappresentazione simbolica del medesimo.

Fig. 57 - Condensatori fissi: a dielettrico ceramico ed a dielettrico di materiale plastico (in basso). A lato dei due, il simbolo adottato nella rappresentazione grafica.



La variazione di capacità di un condensatore si ottiene agevolmente. È sufficiente diminuire l'area delle armature e, per raggiungere questo risultato nella pratica, un'armatura rimane fissa mentre l'altra è resa mobile; quest'ultima infine, se collegata meccanicamente ad un perno di comando, può presentarsi nei rispetti dell'altra, in tutte le posizioni che sono conseguenti alla rotazione (mediante apposito bottone o manopola) dell'albero stesso, dando luogo a tutti i valori di capacità, dal minimo al massimo consentito dalle superfici e dalle distanze tra di esse adottata.

Diremo ancora che, se per ottenere una data capacità, le armature da realizzare risultassero di dimensioni eccessivamente grandi e quindi il condensatore di poco pratico impiego, si possono — come avviene sempre — abbinare più armature di minori dimensioni, fisse, e rispettivamente mobili, pervenendo allo stesso risultato in quanto l'area affacciata risulta eguale nei due casi.

Le **figure 56** e **57** illustrano alcuni tra i tipi di condensatori, variabili e fissi, che trovano corrente impiego nelle apparecchiature radio.

Circuito oscillante

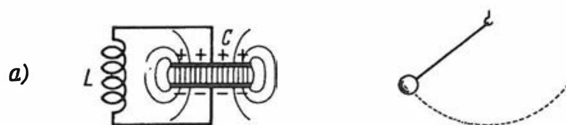


Fig. 58 - Condensatore carico applicato ad una induttanza.

Un'induttanza, come abbiamo visto, immagazzina anch'essa energia nel suo campo magnetico. Se noi applichiamo un'induttanza ai capi di un condensatore carico (**figura 58 a**), quest'ultimo si scaricherà sulla prima (**figura 59 b, c, d**).

Poiché però, con l'induttanza si verifica il ritardo accennato (detto sfasamento), l'energia avrà tempo di presentarsi nuovamente ai capi del condensatore che, risultando scarico, si caricherà nuovamente (**figura 60 e, f, g**).

Il ciclo di queste scariche e cariche reciproche continuerà sino a tanto che le perdite (inevitabili in ogni circuito) avranno dissipato sotto forma di calore tutta l'energia.

Il numero di volte in cui, in un secondo, questo reciproco scambio di cariche si verifica viene detto frequenza naturale o « frequenza di risonanza » del circuito e dipende evidentemente dal valore dei componenti impiegati.

Se si provvede a fornire opportunamente energia in continuità onde supplire a quella dissipata, l'azione di oscillazione suddetta continua indefinitamente.

Modificando il valore dell'induttanza, o quello della capacità, si può far variare la frequenza di risonanza perché di conseguenza, mutano i tempi della carica-scarica reciproca.

Si osservi l'analogia con il comportamento di un oscillatore classico, il pendolo. La caduta graduale del peso corrisponde al trasferimento della carica dal condensatore all'induttanza sino alla posizione verticale (carica del condensatore esaurita).

Il peso prosegue la sua corsa (ora, però è in ascesa); gli corrisponde il fenomeno opposto sino all'esaurimento della carica dell'induttanza. La fase è opposta e la nuova carica del condensatore è a polarità invertita. Il fenomeno si ripete. Variando i valori degli elementi si può variare la frequenza della ripetizione.

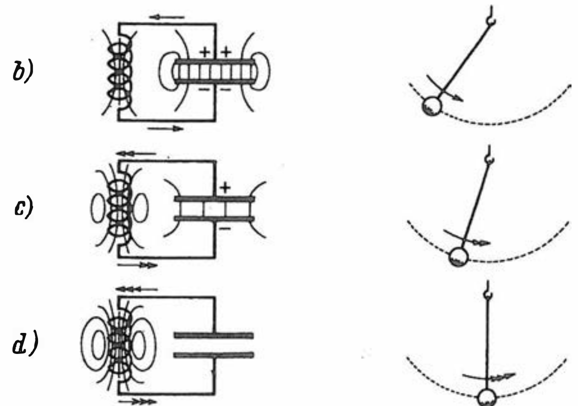
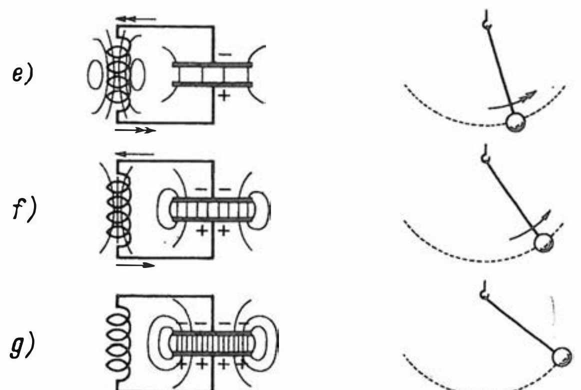


Fig. 59 - La carica si trasferisce (« b » e « c »), in un certo tempo, sull'induttanza sino alla scarica completa del condensatore (« d »).

Fig. 60 - L'induttanza trovando scarico il condensatore invia ad esso (« e » ed « f ») la carica appena ricevuta, sino a carica completa del condensatore (« g »).



Segni schematici

= Antenna, aereo

= Presa di terra o massa

= Condensatore a valore fisso

= Condensatore a valore variabile

= Condensatore a valore variabile

= Condensatore variabile con altro di minore capacità (compensatore) in parallelo

= Condensatore variabile doppio con comando unico (detto « in tandem »)

= Nucleo fisso per bobina

= Nucleo regolabile per bobina

= Nucleo regolabile per bobina

= Nucleo regolabile per bobina

= Bobina a prese multiple

= Bobina a induttanza variabile

= Bobina con nucleo fisso

= Bobina con nucleo regolabile

= Bobine per A.F. avvicinate (accoppiate per induzione).

= Bobine per A.F. accoppiate, con primario e secondario accordati

= Bobine per A.F. con nucleo, accoppiate e accordate

= Microfono

= Altoparlante

= Altoparlante

= Altoparlante

= Cuffia biauricolare

= Raddrizzatore (rivelatore) a cristallo (diodo)

Simboli - Abbreviazioni

A.F. = Alta Frequenza; a volte: R.F. = Radiofrequenza.
A.F. = Audio Frequency (su testi in inglese) = Audiofrequenza.
B.F. = Bassa Frequenza; a volte: Audiofrequenza.
°C = gradi centigradi - temperatura.
c/s = cicli al secondo (non più usato) frequenza.
E.H.F. = Extremely High Frequency = Frequenza straordinariamente alta.
f = frequenza (in Hz - kHz - MHz (c/s - kc/s - Mc/s non più usati).
F = gradi Fahrenheit - temperatura.
F.I. = Frequenza Intermedia = Media Frequenza.
GHz = Gigahertz = 1 000 MHz = 1 miliardo Hz.
H.F. = High Frequency = Alta Frequenza = A.F.
Hz = hertz; a volte c/s = cicli al secondo (non più in uso).
I.F. = Intermediary Frequency = Media Frequenza.
kc/s = kilocicli al secondo (non più usato) = 1 000 Hz.
kHz = kilohertz = 1 000 Hz = kc/s.
L.F. = Low Frequency = Bassa Frequenza = B.F.
M.F. = Media Frequenza (frequenza intermedia).
Mc/s = Megacicli al secondo = MHz = 1 000 kc/s.
MHz = Megahertz = 1 000 kHz = 1 000 000 Hz.
R.F. = Radiofrequenza = A.F.
S.H.F. = Super High Frequency = Frequenza altissima.
T = tempo (in h = ore, oppure in s = secondi).
U.H.F. = Ultra High Frequency = Frequenza ultra alta.
V = velocità (di propagazione).
V.H.F. = Very High Frequency = Frequenza molto alta.
V.L.F. = Very Low Frequency = Frequenza molto bassa.
λ = (lambda) = lunghezza d'onda (in m, cm, ecc.).

Formule

$$\lambda = \frac{300\,000\,000}{f} \text{ (in metri)}$$

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$$\lambda = 300\,000\,000 \times T$$

$$V = \lambda f$$

$$f = \frac{300\,000\,000}{\lambda} \text{ (in hertz)}$$

L'ELETTRONICA

IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

Attrezzatura - Componenti 2

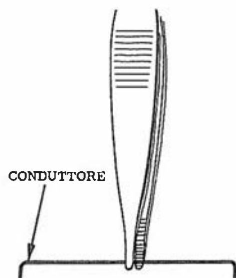
RADIO - TRANSISTORI - CIRCUITI INTEGRATI - Hi-Fi - ANTENNE - TRASMISSIONE - APPLICAZIONI VARIE

Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - 70% - Lire 750

Accessori e utensili

Nella realizzazione delle apparecchiature radioelettriche si riscontrano spesso elementi che hanno la particolarità di essere comuni alla quasi totalità degli apparecchi. La stessa cosa può dirsi per ciò che concerne gli attrezzi o utensili atti alle operazioni di montaggio, riparazione, ecc.

Escludendo per il momento quelli che sono veri e propri componenti radio — che però incontreremo e analizzeremo singolarmente poco più avanti — citiamo in primo luogo i **conduttori**, che evidentemente giuocano un ruolo importantissimo in tutto il campo dell'elettronica.



Per unire elettricamente un componente con un altro si impiega un conduttore che può essere rigido, semirigido, flessibile, monofilare, isolato, nudo, multifilare. L'unione prende il nome di «collegamento». I conduttori rigidi possono essere preparati preventivamente, se necessario, nella dovuta lunghezza e ripiegati ai capi come si vede nell'illustrazione, per inserirsi nei punti di saldatura; a volte, se si presentano secondo quest'ultima forma, vengono detti «cavallotti».

Sono i conduttori (o fili elettrici, come spesso vengono chiamati) che, come dice il loro nome, « conducono » l'elettricità e consentono di portare nella propria funzione ogni qualsiasi organo componente l'apparecchio: in questo specifico compito sono definiti **collegamenti** ed è facile intuire che l'interruzione o la mancanza anche di un solo collegamento può compromettere in maniera notevole, quasi sempre vitale, il funzionamento di un intero complesso.

Nel sistema costruttivo oggi prevalente, detto a **circuiti stampati**, tutti i conduttori costituenti i vari collegamenti (**figura 1 B**) vengono ricavati, con un'unica operazione (incisione chimica) da un foglio di rame.

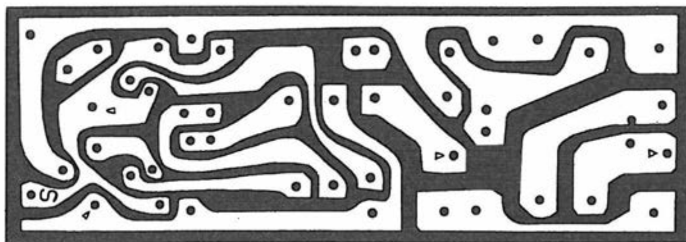


Fig. 1 B - Se l'apparecchiatura deve essere costruita in molteplici esemplari, un disegno iniziale dei collegamenti porta, dopo varie fasi, alla possibilità della loro realizzazione con operazione unica (circuito stampato).

Come avremo occasione di dimostrare, i collegamenti elettrici assolvono dunque ad una funzione insostituibile nella realizzazione delle apparecchiature elettroniche, dalle più semplici alle più complesse.

I conduttori inoltre sono presenti quali parte integrante e preponderante di diverse parti staccate: con essi si realizzano trasformatori, resistenze, bobine varie ed altri organi che esamineremo oltre.

Le caratteristiche che i conduttori elettrici devono presentare possono variare da impiego a impiego perché a volte può essere necessario che essi siano buoni conduttori di elettricità come a volte può essere necessario addirittura il contrario (che offrano cioè un certo ostacolo al passaggio dell'elettricità ossia una certa « resistenza »).

Possono necessitare conduttori rigidi oppure flessibili, di grande o di piccolissima sezione, singoli o multipli, nudi o isolati (protetti cioè da un materiale dalle caratteristiche elettriche opposte alle loro, un « isolante »), di sezione rotonda o di sezione quadra, ecc. ecc.

Nella pratica corrente potrà perciò essere spesse volte necessario al radiotecnico svolgere o avvolgere, troncare o unire, saldare, tendere, isolare, individuare o calcolare conduttori diversi; per far ciò egli si avarrà di semplici utensili che risultano peraltro indispensabili. Così, sarà necessario che il tecnico si procuri a questo proposito quel corredo minimo col quale il suo futuro lavoro risulterà grandemente facilitato.

Attrezzi diversi

Non intendiamo dilungarci sulla descrizione di attrezzi che tutti certamente conoscono, ma sarà opportuno accennare brevemente a quelli le cui caratteristiche sono maggiormente conformi alle necessità del radiotecnico.

Le **pinze** di cui si può aver bisogno saranno scelte tra quelle realizzate in varie forme, come ad esempio a punta rotonda, particolarmente adatte per piegare le estremità dei fili di collegamento, a punta piatta (internamente zigrinata o liscia), a punta aguzza, curva, ed infine è indispensabile la cosiddetta pinza a molla, in tutto simile a quella adottata dai collezionisti di francobolli, particolarmente utile per tenere i terminali dei fili di collegamento nella

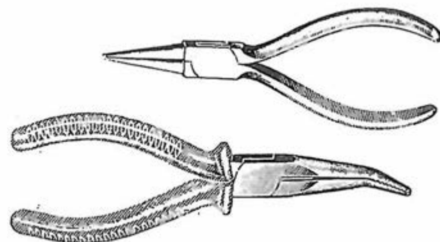
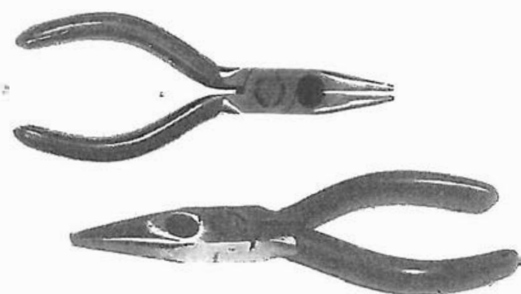


Fig. 2 B - Due tra i tipi più comuni di pinze per il lavoro del radiotecnico: il tipo a punte tonde, utile in particolare per fare occhielli alle estremità dei fili di collegamento, e quello a punto curva, per accedere a dadi in posizioni difficilmente accessibili.



Altri tipi di pinze. Quello in alto è a punte semitonde mentre l'altro è a punta piatta, diritto; con entrambi si può effettuare anche il taglio dei conduttori.

loro posizione migliore durante la saldatura a stagno: la **figura 2 B**, illustra alcuni tra i tipi più correnti di pinze, e la **figura 3 B**, le caratteristiche pinze a molla di cui si è detto.

Un altro attrezzo importante è il **tronchesino**, il cui compito consiste nel consentire il taglio netto di un corpo solido, come ad esempio un conduttore, onde conferirgli la lunghezza desiderata. Ve ne sono di grandi, atti a tagliare perfino dei trafilati in ferro di notevole spessore, e di piccoli, destinati unicamente al taglio dei conduttori in rame piuttosto sottili: la scelta del tipo da usare deve essere fatta tenendo presente la massima sezione di taglio che può essere dato di incontrare; generalmente il tecnico del nostro ramo ha a che fare con fili di rame, di assai modesta sezione. Non sarà male, comunque, di disporne di almeno due esemplari di diversa dimensione.



Fig. 3 B - La caratteristica «pinza a molla», molto utile per l'esecuzione dei collegamenti e per il collocamento dei piccoli componenti.

Due tronchesini sono illustrati in **figura 4 B.**

Le comuni **forbici** sono anch'esse di notevole utilità: negli impieghi radio si ricorre spesso ad un tipo assai robusto e corto (**figura 5 B**), che presenta la caratteristica di consentire, mediante un apposito intacco — visibile in figura — un'azione di taglio dei conduttori, agendo in maniera analoga al tronchesino.

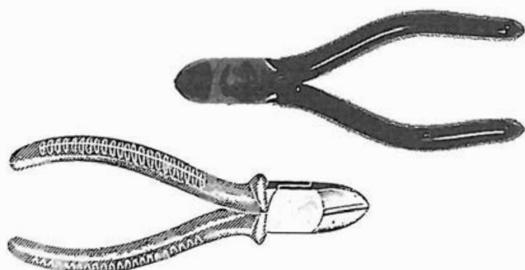


Fig. 4 B - Il «tronchesino» che, come dice il nome, serve a troncare i conduttori. Deve essere di dimensioni adeguate al diametro dei fili da tagliare.

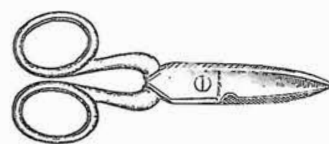


Fig. 5 B - Le forbici dette da elettricista. Un particolare intaglio le rende utili anche come tronchesino per fili piccoli. Servono per denudare i conduttori isolati in mancanza di altro, apposito, utensile.

Il **cacciavite** risulta anch'esso tra gli attrezzi indispensabili; viene realizzato in diversi modi ed in diverse dimensioni, per cui è opportuno disporne di una serie completa, con impugnatura isolata, costituita dalla maggior parte delle misure standard comunemente adottate.

È inoltre opportuno disporre di due o tre tipi molto lunghi (circa 20 cm) e con stilo sottile, atti a raggiungere le viti attraverso eventuali componenti ingombranti fissati allo chassis (telaio dell'apparecchiatura), evitando così lo smontaggio di tali componenti.

Un tipo di cacciavite indispensabile al radiotecnico è realizzato interamente in materiale isolante, e serve unicamente per la messa a punto (« taratura ») dei radioricevitori in quanto, essendo costituito da materiale non conduttore (**figura 6 B**), evita certi fenomeni che verranno in seguito descritti: esso viene realizzato in varie forme, conformemente agli oggetti usati nei componenti radio per i quali viene impiegato (nuclei di bobine, compensatori, ecc.).



Uno tra i più comuni tipi di cacciavite è quello di medie dimensioni. L'isolamento del manico è indispensabile, così come è consigliabile anche per tutte le pinze, perché permette di accedere anche ad organi sotto tensione. Tra gli utensili spesso sono utili quelli a punta intercambiabile: possono allora diventare cacciaviti a dimensione diversa nonché punte per tracciare, ecc. Vi è un tipo di cacciavite (il penultimo) che reca nel manico una piccola lampada spia, al neon, che segnala la presenza della corrente.

La **chiave a tubo** è un attrezzo del tutto simile al cacciavite, con l'unica differenza che, alla sua estremità, al posto di una lama da inserire nel taglio di una vite, si trova una cavità a forma esagonale che si adatta perfettamente al perimetro di un dado. Si trovano in commercio serie complete che vanno da un minimo di 3 mm ad un massimo di 15, e vi sono invece tipi con un'unica impugnatura e con estremità intercambiabili nelle varie misure (**figura 7 B**), a volte anche con uno snodo speciale che permette di stringere o di allentare i dadi pur tenendo l'attrezzo in posizione inclinata rispetto

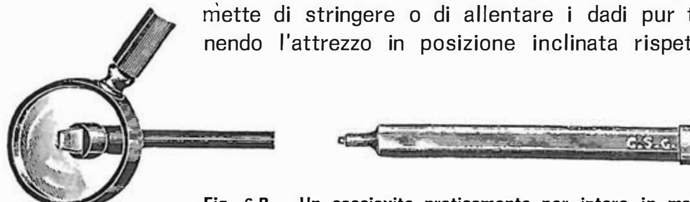


Fig. 6 B - Un cacciavite praticamente per intero in materiale isolante è indispensabile nelle operazioni di taratura o messa a punto delle apparecchiature, per evitare dannosi effetti della sua massa metallica che altererebbero la taratura.

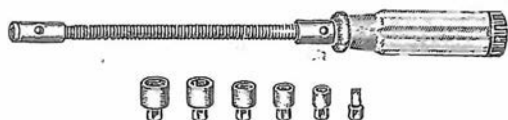


Fig. 7 B - Chiave a tubo con il suo corredo di punte intercambiabili. È molto utile nelle operazioni di montaggio o di smontaggio per tenere fermi i dadi delle viti che consente di stringere a fondo.

all'asse della vite e del dado stesso.

Il cosiddetto **cacciavite a pressione** è invece un attrezzo particolarmente utile per mettere in posizione le viti quando lo spazio disponibile è insufficiente a che il posto venga raggiunto dalla mano dell'operatore. Esso consiste di un comune cacciavite con un'anima interna che, azionata da una molla al momento opportuno, tiene la vite strettamente all'estremità dello strumento finché non viene liberata ad opera dell'operatore stesso (**figura 8 B**).

Le **chiavi esagonali** (dette chiavi inglesi), fisse e regolabili, sono certamente abbastanza no-



Fig. 8 B - Cacciavite di particolare impiego per collocare viti in posizioni non accessibili correntemente: stringe la vite sino a che essa non viene liberata dall'operatore.

te. Possono anch'esse far parte degli attrezzi necessari in un laboratorio radiotecnico.

Tali attrezzi, ripetiamo, sono disponibili in commercio in varie forme e dimensioni. Le loro caratteristiche, e per contro il criterio di scelta, dipendono massimamente dal tipo di lavoro che si prevede di dover svolgere.

Un attrezzo importante è la **pinza spellafili** simile ad un tronchesino ma provvista di un fermo speciale (**figura 9 B**). Il suo compito, come dice lo stesso nome, è di togliere l'isolamento che circonda certi tipi di conduttori, al fine di poter unire l'estremità del conduttore ad un componente (o ad un altro conduttore) mediante una vite o saldatura. Essa viene regolata in modo che la parte tagliente agisca fino al raggiungimento della parte metallica del conduttore senza tagliarlo. A questo punto interviene il « fermo » e basterà tirare per togliere l'isolamento dal punto voluto in poi.

Si trovano in commercio particolari borse (**figura 10 B**) che contengono un corredo di utensili scelto razionalmente per i bisogni del radiotecnico.

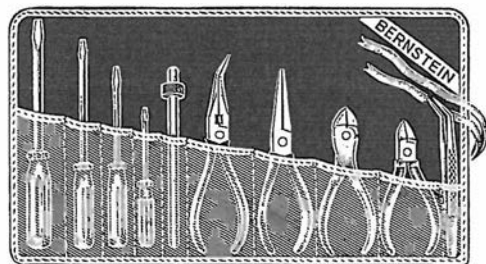


Fig. 10 B - Un corredo di utensili tra i più comuni predisposto in borsa è molto utile al radiotecnico, specialmente se il suo lavoro è quello di intervento per riparazioni presso il cliente.

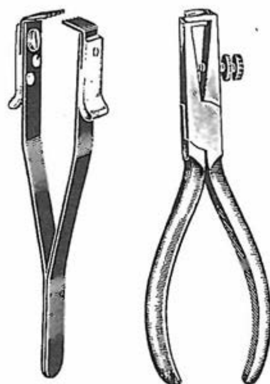
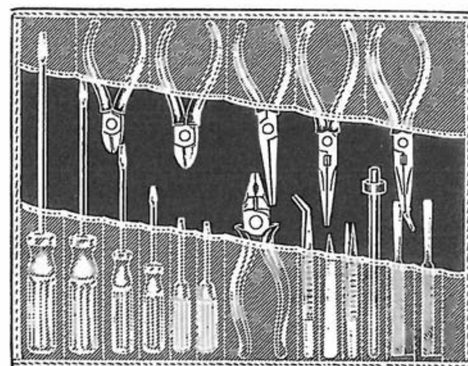


Fig. 9 B - Due pinze spelafili. Predispongono i fili isolati, mettendo a nudo la parte metallica. Possono essere adattate a diversi tipi e diametri.



Le borse per radiotecnici possono avere un diverso corredo. Quella in figura è particolarmente ricca di utensili; vi figurano quasi tutti quelli che abbiamo sin qui citati oltre a due piccole lime che possono servire per mettere a nudo, prima del collegamento, parti metalliche ossidate.

Per fare una descrizione completa di tutti gli attrezzi di laboratorio occorrerebbe uno spazio molto superiore a quello fin qui dedicato; comunque, ogni volta che se ne presenterà l'occasione, descriveremo gli attrezzi più adatti al laboratorio radiotecnico, sia dal punto di vista della sola riparazione, sia da quello della costruzione sperimentale o addirittura di serie. E veniamo ora a quello che è senz'altro il più tipico degli utensili del radiotecnico: il **saldatore.**

Il saldatore

Esso è un utensile di larghissimo impiego, sia per realizzare montaggi nuovi che per effettuare riparazione. In pratica si tratta sempre di un saldatore elettrico che è possibile trovare però costruito secondo criteri diversi.

Il saldatore deve consentire le operazioni di saldatura a stagno che sono relative all'unione di due o più conduttori tra loro o di conduttori con organi dell'apparecchiatura. Poiché è di frequente impiego, il saldatore dovrà perciò presentare, tra le sue caratteristiche, qualità di sicurezza nel funzionamento e garanzia di durata.

I tipi normalmente in commercio si possono classificare in saldatori veri e propri, di una certa forma abituale e classica, ed in saldatori a pistola.

I primi sono caratterizzati da una massa di rame (punta), che viene riscaldata indirettamente mediante una resistenza connessa ad una presa di energia elettrica (che è quasi sempre la rete luce). Il riscaldamento è permanente nel senso che, sia nel momento della saldatura che nelle pause di detto lavoro, il saldatore permane collegato alla corrente e, naturalmente, consuma energia che dissipa in calore. Tuttavia non è procedura pratica interrompere l'erogazione di corrente a tale saldatore perché, essendo esso dotato di una notevole inerzia termica, si avrebbero, per ogni nuova inserzione lunghi periodi di attesa per il raggiungimento della temperatura di regime.

Tale tipo conviene perciò per lavori continuativi, quando cioè le operazioni di saldatura sono frequenti e numerose (ad esempio, montaggio continuato di ricevitori o di parti di essi, ecc.). Anche in queste applicazioni però si tende ad evitare un eccesso di calore, che porta ad una rapida ossidazione della punta saldante, dotando il saldatore di un « termostato » ossia di un dispositivo automatico di interruzione parziale e di attacco della corrente, azionato, entro determinanti limiti, dalla temperatura stessa.

La saldatura

La **saldatura a stagno** è alla base di tutte le applicazioni elettroniche, in quanto permette la realizzazione di collegamenti tra conduttori e tra questi ed i vari componenti, abbinando alla massima rapidità la massima sicurezza di contatto. Essa consiste nell'avvicinare le parti da saldare in modo che si tocchino, e nell'annegare le parti così messe a contatto, in una goccia di stagno fuso che, appena raffreddata, costituisce un nodo unente, soprattutto dal punto di vista elettrico, le varie parti in un corpo solo.

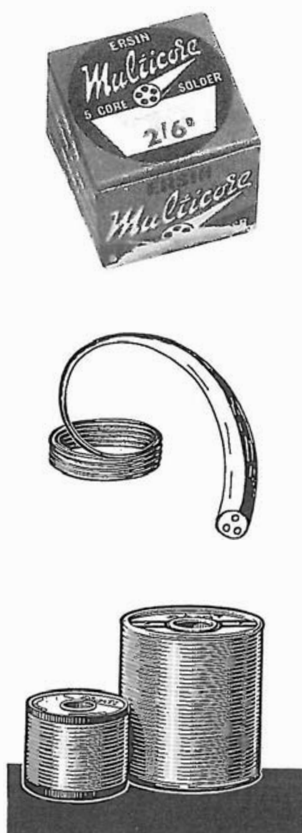
Il termine « stagno » è in realtà usato in modo improprio poiché non si tratta di stagno solo, bensì di una lega di tale metallo con piombo, generalmente nella rispettiva proporzione di 60% e 40%, e tale lega è stata scelta unicamente in quanto rappresenta la combinazione ideale per ottenere la più bassa temperatura di fusione senza peraltro compromettere il risultato. La lega per saldare viene posta in commercio sotto forma di un filo (**figura 11 B**) del diametro variante da 4,5 a 3 mm, ottenuto con una macchina detta trafila.

È necessario tenere nella dovuta considerazione il comportamento della lega per quanto riguarda il tenore di stagno, specie nel caso di saldature delicate e veloci (radio, telefonia, televisione, ecc.) dove il basso punto di fusione della lega e il minimo intervallo di pastosità, permettono di ottenere con la massima rapidità, saldature che solidificano in pochi secondi, formando superfici brillanti e compatte.

La lega 60/40, la cui composizione centesimale è la più vicina a quella eutettica, è quindi come si è già detto, la più indicata.

Nell'uso del filo autosaldante, i saldatori debbono essere ben dimensionati e tali che la temperatura della punta si mantenga, sia in lavoro che in riposo, 30° ÷ 50° più alta del punto di fusione della lega usata. Una maggiore temperatura dei medesimi, provoca il rapido consumo della punta per lo scioglimento del rame che entrando in lega con lo stagno, modifica le caratteristiche della saldatura e la rende opaca alla superficie. Tenuti invece a temperatura inferiore, diminuiscono la velocità di saldatura col rischio di ottenere « saldature fredde » (saldature che pur sembrando riuscite all'aspetto, non sono, in realtà efficaci né sicure in quanto la fusione non ha incorporati gli elementi da unire).

Fig. 11 B - Trafilato (lega) per saldatura. Presenta quasi sempre tre cavità contenenti una resina che facilita molto la saldatura; essa ricopre prima dello stagno i punti di saldatura evitandone l'ossidazione.



Pertanto, sarà bene controllare sovente le punte dei saldatori, affinché non risultino troppo lunghe o di sezione insufficiente, quindi non adatte a somministrare la quantità di calore necessaria per una buona e perfetta saldatura. Al contrario, punte troppo corte e tozze, determinano temperature elevate.

Il diametro del filo autosaldante dovrà essere sempre proporzionato alla superficie delle saldature da eseguire. Con tale accorgimento, si otterranno saldature più razionali, evitando così l'accumulo di volumi eccessivi, o la caduta di gocce dal saldatore. Per l'uso corretto del filo autosaldante, è assolutamente necessario attenersi al sistema classico, cioè, filo e saldatore quasi contemporaneamente sul punto da saldare.

Per effettuare una buona saldatura, oltre ad un saldatore ed alla lega sopra descritta, occorre una sostanza accessoria, detta « pasta-salda », il cui compito è di facilitare la distribuzione uniforme dello stagno sulle superfici da unire evitando contemporaneamente l'ossidazione provocata dalla temperatura piuttosto elevata del saldatore; la composizione di tale pasta è a base di colofonia (comunemente detta « pece greca »), e, nel caso dello stagno preparato oggigiorno più usato, è contenuta in una percentuale, rispetto alla lega, del 2 ÷ 2,5%, in una o più cavità del filo stesso.

All'atto della saldatura, poiché il coefficiente di dilatazione della resina contenuta è maggiore di quello della lega stessa, non appena il filo di stagno viene posto a contatto della punta del saldatore, essa raggiunge lo stato semiliquido ed esce dalla cavità distribuendosi sulle superfici da saldare, dopo di che viene immediatamente ricoperta dal metallo fuso, il quale si solidifica appena allontanata la sorgente di calore.

Nella tecnica della saldatura è bene tenere presente quanto detto sopra, per il motivo, che appare evidente, come sia opportuno saldare portando la lega sulle parti preriscaldate, e non depositare lo stagno sulla punta del saldatore per poi portarlo sulla saldatura stessa. Infatti, mentre nel primo caso la resina contenuta si distribuisce sulle parti da unire, facilitando la saldatura, nel secondo caso essa brucia, ed evapora sulla punta calda dell'attrezzo durante il tempo necessario per portare quest'ultima in contatto col punto di lavoro.

È inoltre necessario tener presente che, affinché la saldatura non risulti « fredda » ossia, come già si è detto, non amalgamata con le varie parti da unire, è necessario che queste ultime raggiungano la temperatura di fusione della lega, onde permettere la sua distribuzione uniforme. Per questo motivo occorre « innanzitutto appoggiare il saldatore sulla parte da saldare, e solo dopo portare l'estremità del filo di stagno su quest'ultima», possibilmente non sulla punta dell'attrezzo, facendo in modo che la lega

fonda non per effetto diretto del saldatore, bensì per la trasmissione di calore attraverso le parti da saldare.

Poiché il lettore certamente avrà occasione prima o poi di mettere in pratica le brevi norme che abbiamo sin qui esposte, riteniamo utile porre in evidenza quelle che si riferiscono alla saldatura dei conduttori: è quasi esclusivamente sulla saldatura dei fili, cavetti e conduttori in genere che si basa il lavoro di realizzazione di montaggi radio. Si può verificare la necessità di una saldatura tra due conduttori, oppure tra più di due conduttori; si può incontrare il caso di saldatura di uno o più conduttori ad un contatto fisso, così come il caso di saldatura del terminale di uno o più componenti e il caso di un cavetto schermato.

Un tipo di saldatura molto frequente è quello relativo all'inserzione di componenti sui « circuiti stampati ». Di esso diremo tra breve.

La **figura 12 B** illustra un metodo per saldare tra loro due conduttori, affiancandoli per qualche millimetro dopo averli puliti e ravvivati (vale a dire, dopo aver deposto su ciascuno di essi un po' di stagno). In questo modo lo stagno lega tra loro i due fili per un certo tratto, assicurando, oltre che un buon contatto elettrico, una sufficiente resistenza meccanica. Vi sono però altri metodi, sempre per il caso in questione: essi sono visibili alla **figura 13 B.** I terminali possono essere intrecciati come in **A**; piegati in modo da formare due ganci, come in **B**, oppure uno può essere piegato ad anello mentre l'altro entra nel cerchietto formato dal primo (**C**). In tutti questi casi, in seguito al deposito dello stagno si ha, oltre al perfetto contatto elettrico, un'ottima resistenza meccanica, superiore a quella conseguente al sistema di figura 12 B.

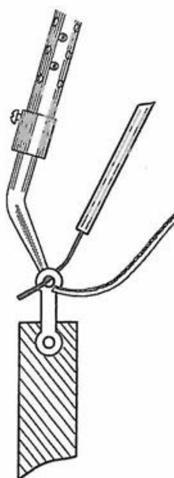


Fig. 14 B - Saldatura di un filo ad una paglietta di ancoraggio. Lo stagno deve fondere a contatto della paglietta e del filo riscaldati dalla punta del saldatore.

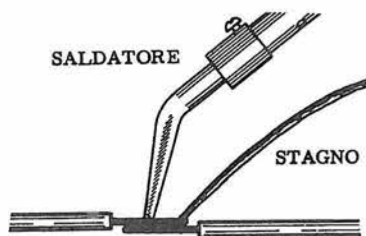


Fig. 12 B - Il metodo più rapido per saldare insieme due conduttori consiste nell'avvicinarli parallelamente e nel ricoprirli con la saldatura. È bene però che ciascuno di essi sia stato preventivamente ricoperto di stagno.

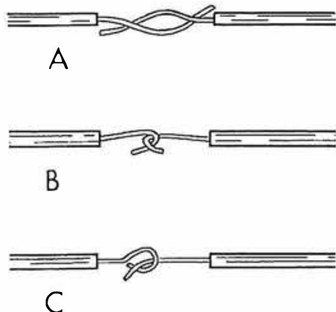


Fig. 13 B - Talvolta è indispensabile che l'unione di due conduttori presenti anche una buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche. In tal caso le terminazioni dei fili, previa pulitura, devono essere assicurate come mostrato in A, B o C, e successivamente saldate.

Occorre che i diversi punti da unire con la saldatura siano perfettamente puliti (grassi, ossidi, depositi, vernici, residui di isolante, ecc. sono da evitare e da eliminare nel modo più assoluto). Si può raschiarli con un temperino, una limetta o carta smeriglio fine.

Messo a nudo e pulito il metallo, appoggiare il saldatore per un certo tempo in modo da portare alla sua temperatura i punti che devono ricevere lo stagno. Solo dopo che il calore si è trasmesso ai corpi da unire, presentare nel punto la bacchettina di lega (**figura 14 B**) lasciandola fondere sulle parti sino a ricoprirle. Allontanare il saldatore: attendere un po' di tempo e controllare la saldatura tirando i diversi conduttori che non devono assolutamente compiere il minimo movimento.

Si deve riuscire a formare ogni volta una goccia di stagno, bene amalgamata, lucida, di dimensioni atte a ricoprire per alcuni millimetri tutte le parti interessate. È bene porre attenzione nell'evitare, naturalmente, i due eccessi (scarsità e sovrabbondanza di stagno depositato).

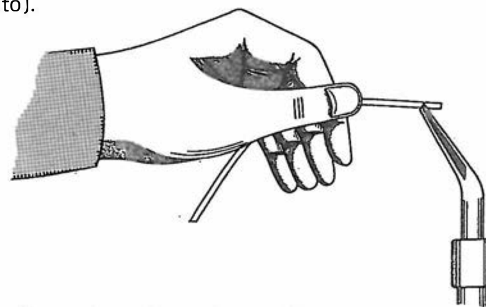


Fig. 15 B - Asportazione dell'isolamento mediante intacco a caldo della guaina. Questa operazione è possibile solo se la guaina è in materiale plastico.

Ai diversi conduttori elettrici isolati deve essere asportato per un breve tratto (4 o 5 mm) l'isolante. L'operazione può essere eseguita con un paio di forbicine curvando il conduttore e prestando molta attenzione affinché non venga tagliato alcun filo di rame costituente la trecciola interna. Per lavori continuativi di questo genere vi sono le apposite pinze spellafili alle quali abbiamo accennato, molto utili. In mancanza di esse consigliamo un sistema molto pratico: consiste nell'intaccare col saldatore (**figura 15 B**) tutto attorno al filo il materiale plastico che forma l'isolamento e nello strappare poi con le dita il pezzettino terminale in modo da lasciare senza guaina i 5 o 6 mm necessari.

La trecciola sporgente messa a nudo sarà pulita e attorcigliata un po' su se stessa, indi posta a contatto col saldatore e con lo stagno: si farà sì che il pezzettino sporgente si ricopra uniformemente di stagno fuso. Introdotto questo moncone nella paglietta, nell'occhiello o nel foro in cui deve essere saldato, appoggiare il saldatore e procedere come si è detto sopra.

Se ad una data linguetta devono pervenire

due o più conduttori è bene introdurli tutti prima di stagnarli assieme: eventualmente ancorarli curvandoli un po' attorno al foro e comunque mantenerli tutti in loco (**figura 16 B**) a mezzo di un paio di piccole pinze (le pinze a molla di cui si è detto).

I piccoli componenti (resistori, condensatori, raddrizzatori, ecc.) presentano dei conduttori già pronti per ricevere la saldatura. Saldando, tenere con una pinza il componente stesso o la parte residua del gambo (quella che sarà poi troncata). Buona parte del calore della saldatura viene dispersa dalla pinza (**figura 17 B**) e non raggiunge integralmente il componente che, in diversi casi (diodi, transistori, ecc.) potrebbe risentirne deteriorandosi.

Un caso nel quale occorre prestare una certa attenzione è quello relativo alla saldatura di un conduttore schermato.

La calza deve essere saldata per suo conto, in un punto diverso da quello al quale va unito il conduttore interno: per questo bisogna deviarla un po' prima, così come si vede in **figura 18 B**. Controllare sempre, in questi casi, che non si verifichi un contatto tra calza (e suo punto di saldatura) e il filo denudato interno.

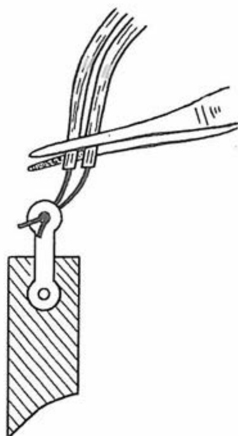


Fig. 16 B - Per applicare più conduttori ad una paglietta è molto utile mantenere questi ultimi in posizione durante la saldatura, con una pinzetta. È bene trattenere un po' la pinza anche durante il tempo di raffreddamento.

saldatore da un lato della paglietta e della lega saldante dall'altro lato. In figura 16 B si ha un caso di due diversi conduttori che fanno capo allo stesso ancoraggio: si può notare l'impiego della pinza elastica per mantenere al loro posto i fili sino a che la saldatura non viene completata.

A volte si verifica la necessità di effettuare saldature di parti di dimensioni notevoli, come ad esempio di piastrine di rame o di ottone (**figura 19 B**), o di dover saldare un conduttore di un certo spessore direttamente sulla massa metallica dello chassis (purché esso non sia di alluminio). Essendo allora le masse in gioco piuttosto grandi, occorrerà un saldatore di dimensioni sufficienti per ottenere sul pezzo la temperatura necessaria, nonostante la notevole dispersione di calore, ed inoltre occorrerà aiutare l'azione della resina contenuta nello stagno preparato con l'aggiunta di altra resina, o pastasalda, solitamente venduta in scatolette (**figura 20 B**) apposite per gli impieghi radio.

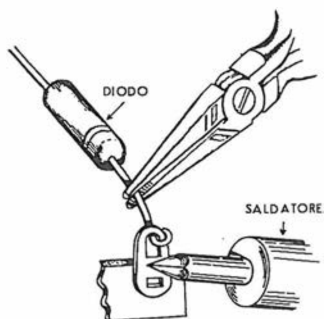


Fig. 17 B - Una pinza, oltre che mantenere in posizione il componente durante la saldatura permette, con la sua massa una rapida dissipazione del calore; in tal modo il componente ritorna più rapidamente alla temperatura ambiente.

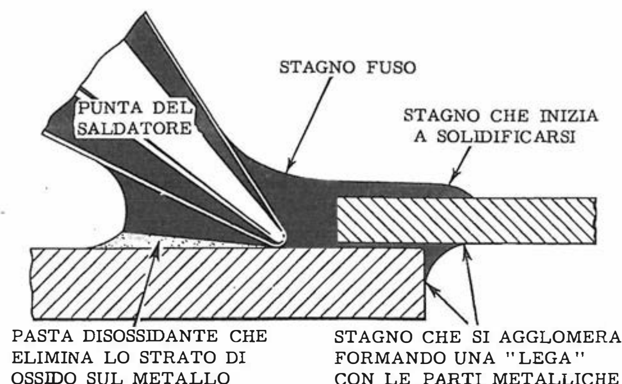


Fig. 19 B - Questa figura mostra ciò che avviene durante la saldatura di due piastrine nei diversi punti dell'assieme.

In una apparecchiatura radioelettrica si hanno a volte « punti di ancoraggio », previsti, come il nome stesso dice, per accogliere i capi di più conduttori. Si tratta di supporti isolanti muniti di « pagliette » metalliche forate. Un'idea di quanto testè detto si può avere osservando le figure 14 B e 16 B. In figura 14 B si mostra il terminale introdotto nel foro, l'applicazione del

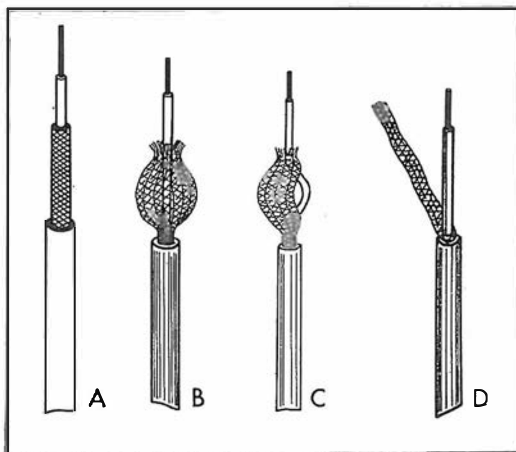


Fig. 18 B - Fasi della preparazione per saldatura di un cavetto schermato. La calza schermante deve essere quanto più integra possibile, e in ultimo, ricoperta di stagno.

Date queste varie necessità di saldatura è spesso opportuno disporre di più di un saldatore, scegliendo i tipi necessari a seconda dell'impiego che si ritiene di doverne fare; è evidente come il saldatore col quale si dovranno saldare i conduttori di un transistore o di un circuito integrato debba presentare dimensioni e dissipazione ben diverse da quello testè accennato, per le « masse ».



Fig. 20 B - Quando le parti da unire con saldatura sono di dimensioni grandi è necessaria una quantità di resina maggiore di quella contenuta nel filo autosaldante; si ricorre a questa pasta, posta in commercio in scatolette.

Diamo ora, in proposito, una sommaria descrizione dei diversi tipi, ponendo in particolare evidenza la differenza fra quelli normali e quelli istantanei.

Tipi di saldatori

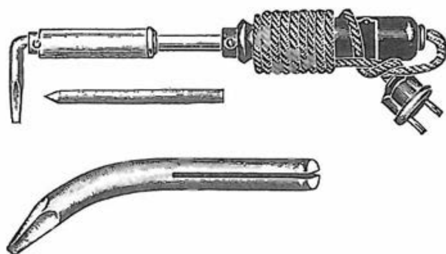


Fig. 21 B - Saldatore elettrico a resistenza e tipi di punte intercambiabili a seconda delle esigenze del particolare impiego. Le punte sono trattenute nell'alloggiamento mediante una vite laterale di pressione.

Come già accennato, esso consiste di una impugnatura in legno o in bachelite, ossia fatta di sostanze con bassa conduttività di calore al fine di proteggere la mano dell'operatore, all'estremità della quale è inserito un tubo in ferro nichelato che, a sua volta, supporta una punta di rame che può essere diritta o curva (**figura 21 B**). Detta punta è in parte contenuta nel tubo di ferro, mentre il resto sporge per la lunghezza di qualche centimetro all'esterno.

La parte contenuta nel tubo è ricoperta da materiale isolante (generalmente mica), sul quale si trova avvolta la « resistenza » di riscaldamento, molto simile a quella dei comuni ferri da stiro elettrici, protetta a sua volta da un secondo rivestimento isolante per evitare il contatto col tubo di supporto. Il compito della resistenza è di diventare incandescente per effetto della corrente elettrica che la percorre, e di trasmettere il calore alla punta di rame onde portarla, dopo un certo tempo, alla temperatura necessaria per fondere lo stagno.

La quantità di calore sviluppato dalla resistenza deve essere proporzionale alla massa del rame (punta) da riscaldare in quanto, come si è già detto, una temperatura troppo bassa causerebbe saldature imperfette, ed una temperatura troppo alta comporterebbe una eccessiva ossidazione del rame, impedendone così il funzionamento.

È noto infatti che il rame, una volta raggiunta una certa temperatura, si combina con l'ossigeno presente nell'aria ricoprendosi di uno strato di ossido (di colore molto scuro) che agisce tra l'altro come cattivo conduttore del calore. Per questo motivo la punta del saldatore deve ogni tanto essere pulita, non con una lima, la quale a lungo andare la consumerebbe, bensì battendola con delicatezza con un martello relativamente leggero ed asportando solo lo strato di ossido. Per togliere le ossidazioni ci si può anche servire di uno straccio.

Un buon sistema per ritardare al massimo il processo di ossidazione consiste nel tenere costantemente l'estremità della punta ricoperta da un sottile strato di stagno fuso, ravvivandolo di tanto in tanto; su tale stagno però non bisogna fare affidamento per eseguire la saldatura, per i motivi già detti (assenza di « pasta-salda ») per cui all'atto della saldatura si procederà sempre con l'apporto dello stagno ricavato dal filo autosaldante.

Le resistenze di riscaldamento, che sono intercambiabili, e che fanno capo a due viti di ancoraggio presenti nell'impugnatura, dalle quali si diparte il cavo di allacciamento alla presa di corrente, possono essere di diverso tipo, come è mostrato in **figura 22 B.** Il tipo in precedenza accennato è il più comune, ma vi sono resistenze cosiddette a « linguetta », ossia racchiuse in un'armatura metallica che va inserita in

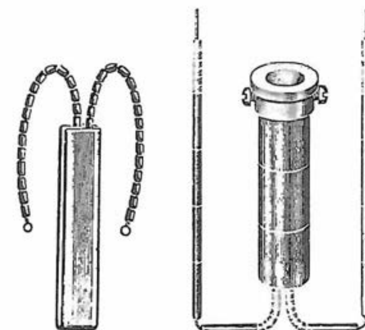


Fig. 22 B - Resistenze di riscaldamento per saldatori. Il tipo piatto viene infilato nell'intaglio praticato nella punta di rame di cui alla figura 21 B; il tipo cilindrico riceve invece nel suo interno la punta.

un taglio longitudinale praticato nella parte della punta contenuta nel tubo di ferro del saldatore, oppure a « libro », ossia racchiuse in una custodia metallica piegata in due in modo da sembrare due pagine di un libro, le cui facciate esterne vengono appoggiate contro la massa di rame da riscaldare.

Le punte di rame poi, possono essere tonde, piatte, trapezoidali, ecc. a seconda delle dimensioni del saldatore e del compito al quale vengono adibite. La **figura 23 B** riporta altri due tipi di saldatori, di cui uno correntemente detto per « masse ».

Questi saldatori, come si è detto, devono essere continuamente alimentati dalla corrente in quanto impiegano qualche minuto a raggiungere la temperatura di funzionamento, per cui sono indicati nei laboratori in cui si svolge un lavoro continuo, nel quale il fattore tempo è della massima importanza. Essi vanno appoggiati su di uno speciale supporto, generalmente a forma di « M » maiuscola (**figura 24 B**) che li tiene in posizione tale a che la mano dell'operatore possa impugnarli facilmente, e nello stesso tempo, fa sì che la parte attiva risulti ad una certa distanza dal banco per evitare che questo si bruci.

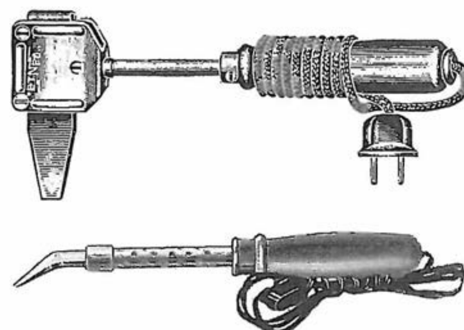


Fig. 23 B - Altri modelli di saldatori a resistenza. Quello in alto è caratterizzato da una punta grande che consente saldature su ampie superfici; naturalmente è dotato di una resistenza che dissipa assai più energia degli altri tipi.

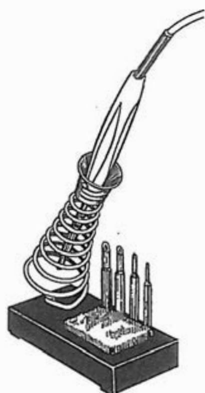
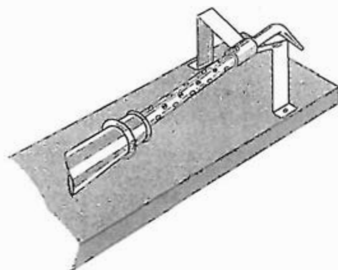


Fig. 24 B - Vi sono diversi modelli di supporti per saldatori; uno tra i più semplici, di costruzione anche assai facile ed economica, è quello ad «M» quale lo si vede a destra, in figura. La spirale-supporto dell'altro tipo illustrato agevola la dissipazione di calore, a riposo.



Anche questo accessorio di appoggio ha una certa importanza: la sua forma deve essere tale da costituire, agli effetti della temperatura trasmessa per contatto, uno sfogo per il calore erogato dalla resistenza, in misura tale da diminuire il processo di ossidazione della punta nei momenti di pausa tra una saldatura e l'altra.

Saldatori istantanei

Questo tipo di saldatore, pur essendo basato per quanto riguarda l'uso, sui medesimi princìpi del precedente — ossia sulla fusione della lega saldante ad opera di una massa riscaldata — ha un impiego ed una realizzazione differenti.

Esso consta innanzitutto di un riduttore di tensione, ossia di un « trasformatore » che preleva la tensione della rete di illuminazione (la quale può variare da 110 a 220 volt) dalla presa di corrente, e la riduce ad un valore notevolmente inferiore, ossia da 6 a 12 volt. (Esamineremo quanto prima questa unità di misura della tensione elettrica, il « volt », nonché il funzionamento dei trasformatori in genere).

Tale tensione, detta « bassa tensione », viene convogliata nel saldatore vero e proprio, analogo al precedente, se pure di dimensioni e peso inferiori.

La punta di questo attrezzo è costituita anch'essa da una massa di rame, ma molto piccola, la quale viene riscaldata, appunto perché piccola, in pochi secondi da una resistenza posta intorno ad essa, resistenza che, per effetto della corrente elettrica circolante, diventa incandescente.

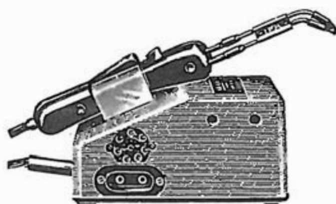




Fig. 25 B - Saldatore a bassa tensione, caratterizzato da un riscaldamento pressoché istantaneo, e punte di ricambio. È molto indicato per radioriparatori.

La differenza principale dal saldatore precedente sta nel fatto che questo secondo tipo, pur essendo anch'esso sempre collegato alla presa di corrente, funziona solo quando l'operatore, premendo un apposito pulsante posto sulla impugnatura, inserisce la tensione della rete luce all'ingresso del riduttore di tensione, e — conseguentemente — alla sua uscita, ossia sulla apposita resistenza.

Anche in questo caso l'industria si è sbizzarrita nella creazione di vari tipi e forme, naturalmente alla ricerca della massima comodità di chi usa l'attrezzo, ed a seconda del lavoro da compiere.



Fig. 26 B - Altro tipo a bassa tensione detto a pistola, con riduttore di tensione nell'impugnatura.

Vi sono ad esempio, tipi di saldatori istantanei in cui il riduttore è costituito da una scatoletta dalla quale partono due cavi (a due conduttori ciascuno); uno dei cavi va collegato alla presa di rete luce, mentre l'altro alimenta il saldatore. Sulla sommità di questa scatoletta si trova un supporto per l'attrezzo, comodo per appoggiarlo quando non lo si usa; la **figura 25 B** mostra un esemplare di detto tipo.

Una seconda versione, visibile alla **figura 26 B**, è il tipo detto a « pistola » data la sua forma che richiama appunto l'idea di una tale arma.

Esso contiene il riduttore di tensione nell'impugnatura, e la parte attiva può essere tanto una piccola massa di rame riscaldata da una resistenza, quanto un conduttore di rame di un certo spessore, che si riscalda direttamente per effetto della alimentazione a « bassa tensione » ma a « forte corrente ».

Tutti i saldatori di tipo istantaneo consumano energia elettrica solo durante la saldatura, ossia quando si preme sul pulsante per ottenere il riscaldamento, e la naturale inerzia termica del metallo fa sì che il tempo impiegato per raggiungere la temperatura di regime sia pari a quello impiegato per tornare a raffreddarsi.

Un altro notevole vantaggio dei saldatori istantanei rispetto ai saldatori normali è la durata molto maggiore della resistenza, la quale, essendo costituita da un breve avvolgimento di filo di nichelcromo di notevole sezione, è certamente meno delicata di quella dell'altro tipo avvolta in molte spire di filo, pure di nichelcromo, ma del diametro di pochi centesimi di millimetro.

A causa della brevità dei periodi di riscaldamento, che avvengono inoltre sempre in presenza di stagno, il pericolo di ossidazione della punta viene ridotto al minimo, con la conseguenza di una maggior durata anche della punta stessa.

La **figura 27 B** mostra ancora un tipo di saldatore a pistola, ma perfezionato, munito cioè anche di una lampadina di ridotte dimensioni che si illumina contemporaneamente al riscaldamento della punta, ossia quando si agisce sull'apposito pulsante. Esso aggiunge alle comodità precedentemente descritte per questo tipo, quella di ottenere una buona illuminazione, spesso necessaria, nel punto in cui si deve effettuare la saldatura.

Alcuni tipi di saldatori istantanei aggiungono la preziosa particolarità di una maneggevolezza e leggerezza estreme, sì da poterli paragonare, molto opportunamente, ad una comune penna da scrivere, e sono quelli da usare nelle saldature più delicate.

L'estendersi della miniaturizzazione in campo elettronico, e cioè la crescente tendenza, tutt'ora in atto, ad adottare parti componenti sempre più piccole ha portato infatti, alla necessità di disporre, anche per ciò che riguarda il saldatore, di tipi speciali.

Due di questi sono illustrati alle **figure 28 B** e **29 B**; essi sono definiti « a matita » in quanto pressappoco, nelle dimensioni e nella forma as-

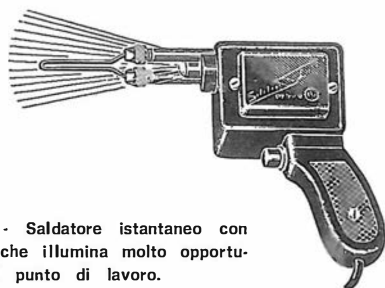


Fig. 27 B - Saldatore istantaneo con lampadina che illumina molto opportunamente il punto di lavoro.

somigliano appunto ad una matita. I vantaggi sono intuitivi: estrema leggerezza con conseguente assenza di fatica nell'uso, possibilità di penetrazione nei punti più complessi dell'apparecchiatura, irradiazione del calore a parti circostanti pressoché nulla, basso consumo e sicurezza di funzionamento unita a sicurezza verso l'operatore in quanto anche questi modelli funzionano a bassa tensione. È previsto pertanto anche qui un trasformatore riduttore, con secondario a 6 o 12 volt.

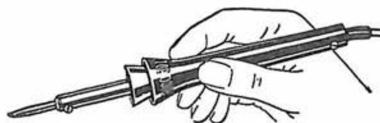


Fig. 28 B - Saldatore a bassa ed alta tensione particolarmente leggero. Questo modello è caratterizzato dalla possibilità di funzionare tanto a 220 volt che a 24 volt.



Fig. 29 B - Saldatore a bassa tensione, di estrema leggerezza. È simile ad una matita ed è indispensabile per saldature su organi piccoli e delicati quali i transistori, i diodi a semiconduttore, i circuiti integrati.

I modelli sono molteplici, ma differiscono più che altro nelle dimensioni della punta che è quasi sempre intercambiabile. Il loro peso varia da 7 a 21 grammi e le punte hanno dimensioni da 1,6 a 5 mm. Si può affermare che per la saldatura di connessioni ai transistori ed ai circuiti integrati (i minuscoli dispositivi amplificatori che esamineremo) e relativi accessori, questo tipo di saldatore sia addirittura indispensabile.

Accessori per cablaggio

Il termine « cablaggio » deriva dalla parola inglese « cable » che significa cavo o collegamento: con esso si intende quell'allacciamento tra i vari componenti di una apparecchiatura elettronica che viene effettuato mediante i conduttori i quali, come detto precedentemente, possono essere di varia natura.

Ogni componente, sia esso una « presa », uno « zoccolo », una « boccola », un « ancoraggio » o altro, è munito di un mezzo di collegamento, e riteniamo opportuno accennare a questi accessori allo scopo di facilitare al lettore l'interpretazione di tutto ciò che verrà detto in seguito in merito ai cablaggi veri e propri.

Si noti, per inciso, che le realizzazioni adottanti il cablaggio inteso come collocamento di fili conduttori sono sempre meno, in quanto, come si è già avuto occasione di dire, si ricorre ora, frequentemente ai circuiti stampati.

Gli accessori di cablaggio si dividono innanzitutto in due categorie principali: accessori di massa o « nudi » e accessori isolati.

Come si vedrà più avanti, in ogni dispositivo elettronico molti collegamenti vanno allacciati alla «**massa**», che spesso è lo chassis o telaio che supporta l'intero apparecchio. Tale allacciamento può essere realizzato nel modo più semplice mediante saldatura, ma ciò è possibile solo quando lo chassis è costituito da un metallo che possa essere saldato con stagno, ossia ferro, rame, ottone, ecc., ma non alluminio o sue leghe. Sia in quest'ultimo caso, sia quando si tratti di realizzazioni in cui l'economia è un fattore che può essere un po' trascurato a vantaggio dell'estetica e della perfezione, gli allacciamenti a massa vengono effettuati mediante alcuni accessori che qui illustreremo.

Terminali. I terminali, o « pagliette », sono piccole lamine metalliche del tipo illustrato in **figura 30 B**. Essendo realizzate in ottone o rame nichelato, possono essere saldate ad una estremità e fissate al telaio mediante una vite con dado che viene inserita nel foro esistente all'altro estremo. Ve ne sono di vari tipi e di varie misure, come si vede nella figura stessa, ed alcuni sono doppi, tripli, o addirittura a « stella », a seconda che il punto di massa debba raccogliere uno o più conduttori. Il loro compito è dunque quello di unire un certo numero di collegamenti che devono essere fatti sulla massa metallica dell'apparecchio.

Nel caso invece in cui detti allacciamenti debbano essere effettuati tra loro, ma in un punto isolato dalla massa, il terminale assume l'aspetto della basetta di ancoraggio, assai simile a quello descritto ora, con la differenza del montaggio su di una piastrina di materiale isolante (non conduttore di elettricità), generalmente bachelite, o cartone bachelizzato, o anche ceramica o steatite, la quale, a sua volta, può essere fissata meccanicamente allo chassis mediante una vite con dado o con un « rivetto »; la basetta può portare, a seconda delle dimensioni, anche un numero considerevole di pagliette (**figura 31 B**).

Il **rivetto** non è altro che un tubetto di metallo che può essere di varie dimensioni (**figura 32 B**) col bordo allargato ad una estremità. Una volta inserito nel foro in cui deve essere applicato, l'altra estremità viene allargata a sua volta con un attrezzo speciale detto « punzone »

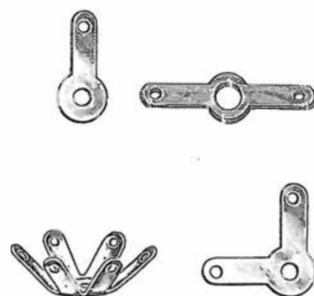


Fig. 30 B - Alcuni tipi di «pagliette» per ancoraggio con saldatura dei fili di collegamento tra loro; generalmente, tra conduttori e massa.

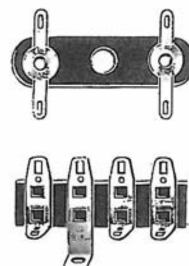


Fig. 31 B - Basette isolanti di ancoraggio dei fili di collegamento. Sul tipo illustrato in basso o sui tipi simili, a volte vengono montati anche piccoli componenti.

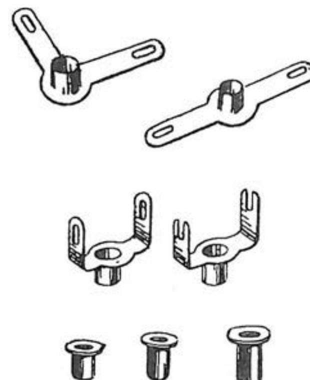


Fig. 32 B - Rivetti a forma diversa alcuni dei quali recanti, in un tutto unico, le pagliette di saldatura. Possono essere fissati a seconda delle esigenze, sia sul metallo che sul materiale isolante. Se servono ad un contatto elettrico è molto opportuno saldarli alla base.

e con una apposita macchinetta detta « rivettatrice », in modo da fissare saldamente le parti tra loro. Si ha così un'unione meccanica di parti, ossia un fissaggio. Il rivetto viene raramente usato per stabilire un contatto elettrico essendo destinato principalmente all'ancoraggio meccanico.

Boccole. Per boccole si intendono quegli accessori che, fissati ad un supporto qualsiasi, fanno capo, sul retro, ad uno o più collegamenti mediante vite o saldatura, e nel medesimo tempo costituiscono, frontalmente, alloggiamento per una « spina » o « banana », inseribile quando necessario (diremo tra breve di tale « spina »).

La **figura 33 B** ne mostra alcuni esemplari, semplici ed isolati; dall'osservazione si potrà dedurre l'impiego.

Come si vede, esse constano in sostanza di una vite metallica attraversata da un foro (di diametro standard), il quale può essere passante o cieco. Ad una estremità si trova la « testa », generalmente a bordo rotondo per ragioni estetiche, testa che prosegue con un corpo cilindrico di diametro inferiore e filettato esternamente per poter esser fissato con dadi.

La boccola può essere una semplice presa di massa, nel quale caso la sola pressione del dado di fissaggio con interposta una « ranella » è già sufficiente per assicurare un certo contatto con lo chassis, oppure può costituire un punto terminale di massa, ed allora alla sua estremità retrostante vengono convogliati uno o più conduttori che possono essere fissati mediante saldatura o mediante apposite pagliette da inserirsi tra il dado e la massa o tra un primo dado ed un secondo, detto « controdado ». Quest'ultimo, se usato comunque, consente anche un più sicuro fissaggio meccanico dell'assieme in quanto impedisce che a seguito di eventuali vibrazioni si possa verificare un allentamento del primo dado.

Naturalmente, può accadere che una boccola debba costituire una « presa » di entrata o di uscita di determinate « correnti », nel qual caso deve ovviamente essere isolata dallo chassis. Ciò è ottenuto nel modo illustrato dall'ultimo tipo delle tre riportate alla figura 33. Si ha cioè una boccola normale che non viene fissata direttamente, bensì mediante anelli isolanti (speciali « ranelle ») che stringono tra loro la lamiera del telaio senza permettere il contatto di quest'ultimo con la boccola stessa.

Nel caso delle boccole isolate, si troveranno spesso anelli isolanti in vari colori, che risultano in pratica molto comodi in quanto permettono di distinguere il compito assegnato alle diverse boccole montate in prossimità tra loro, una volta stabilito un proprio codice dei colori stessi.

Morsetti. I morsetti sono analoghi alle boccole, dato che hanno quasi il medesimo impiego e compito. Come le prime possono essere diretti o isolati (**figura 34 B**): la differenza consiste nel fatto che la parte esterna è costituita



Fig. 33 B - Boccole per «banane», tra le quali una — quella a destra — isolata dal pannello sul quale va fissata.

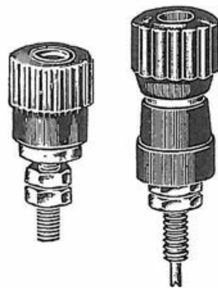


Fig. 34 B - Morsetto normale e morsetto isolato dal suo fissaggio. Consentono sicuri collegamenti semifissi e, come le boccole, sono a volte variamente colorati per una rapida individuazione della loro funzione.

da un pomello zigrinato avvitato sul corpo del morsetto stesso.

Alcuni morsetti sono forati internamente in modo da poter funzionare come boccole contemporaneamente, ed altri permettono soltanto il collegamento di uno o più conduttori esterni che vengono fissati sotto il pomello da svitarsi prima e da stringersi poi per assicurare il contatto tra la sua anima metallica e la vite. Come si vede hanno la prerogativa di consentire sicuri collegamenti semifissi.

Anche i morsetti vengono posti in commercio in vari colori per i motivi cui abbiamo già accennato.

Banane. Per banane si intendono le « spine monopolari », come quelle visibili in **figura 35 B**, le quali, mentre costituiscono il terminale di un conduttore flessibile, possono essere inserite nell'alloggiamento di una boccola o di un morsetto assicurando così un buon contatto temporaneo. Le banane sono poste in commercio in varie fogge e colori, e la parte metallica da inserire nella boccola porta uno o più tagli longitudinali che danno alla spina una discreta elasticità, allo scopo di causare un certo attrito con le pareti interne del foro in cui la banana viene introdotta; ciò assicura un buon contatto elettrico.

La parte isolata della banana, ossia l'impugnatura, può essere svitata mettendo così a nudo l'anima metallica alla quale il conduttore viene fissato mediante una vite a pressione o mediante saldatura.

Coccodrilli. Durante i cablaggi sperimentali, o durante la ricerca di un guasto, si presenta spesso la necessità di eseguire collegamenti provvisori. Essi possono essere effettuati mediante saldatura, ma a volte può essere più comodo servirsi di un semplice contatto a pressione. A questo scopo sono stati creati i « coccodrilli », che prendono tale nome a causa di una evidente analogia.

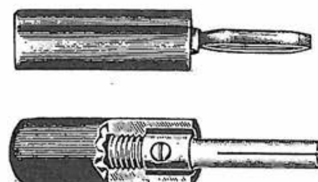


Fig. 35 B - Particolari tipi di spine dette «banane»: servono per collegamenti soggetti a disinserzione saltuaria. Nell'illustrazione dello spaccato, in basso, è visibile la vite che serve a premere il conduttore: essa è accessibile svitando la guaina isolante.

Essi sono costituiti da una molletta la cui azione si risolve nella pressione di due « ganasce » come avviene con le mollette con cui si fissano i panni ad una corda. Il coccodrillo è in metallo, e l'impugnatura può essere nuda o isolata; la **figura 36 B** rende chiaro il funzionamento e l'aspetto.

Gli accessori descritti fin qui sono i più comuni, e saranno i primi ad essere utilizzati dal lettore non appena gli sarà possibile addentrarsi in qualche realizzazione pratica, ma è ovvio che sarà necessario completare l'elenco, in realtà molto più esteso, ogni volta che se ne presenterà l'occasione.

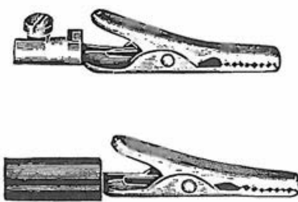


Fig. 36 B - Due «coccodrilli» di cui uno, quello inferiore, con impugnatura isolata. Sono molto utili per collegamenti di prova e vengono usati frequentemente in laboratorio, ove è molto comodo avere a disposizione spezzoni di filo provvisti ai due estremi di un coccodrillo.

Il banco di lavoro

Allo scopo di razionalizzare al massimo il lavoro del radiotecnico, è necessaria una comoda disposizione degli attrezzi e di tutto il materiale occorrente, ed a questo scopo è opportuno, quando è possibile, procurarsi un banco di lavoro organizzato in modo tale che ogni cosa sia a portata di mano, ogni strumento sia

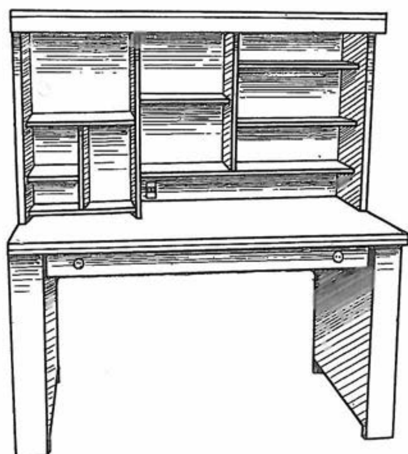


Fig. 37 B - Un banco di lavoro, tipico, con predisposizione per il collocamento degli strumenti e degli accessori vari.

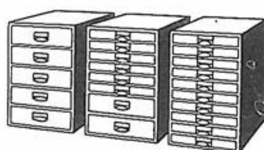


Fig. 38 B - Piccoli e medi componenti possono essere molto comodamente custoditi in cassettiere di questo tipo; prevedono quasi sempre un cartellino d'indicazione esterno.

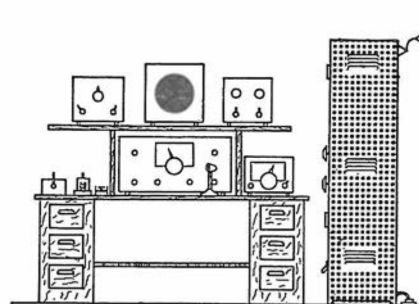
ben visibile ed accessibile, e che vi sia spazio sufficiente per appoggiare un apparecchio da riparare o da costruire. La **figura 37 B** mostra un esempio di tale banco; lo scopo è solo quello di dare un'idea di come dovrebbe essere, pur essendo suscettibile di tutte le modifiche estetiche e dimensionali, subordinate ai gusti e alle necessità di chi deve usarlo.

È facile notare l'ampio piano di appoggio, la battuta posta inferiormente al bordo anteriore del tavolo dove è possibile applicare comodamente un certo numero di prese di corrente per il saldatore, l'apparecchio in lavorazione, ecc.

Gli scaffali prevedono un alloggiamento in alto, a sinistra, per la sistemazione di libri tecnici, quali schemari, tabelle, formulari, prontuari, ecc., mentre tutti gli altri posti sono riservati agli strumenti veri e propri, i quali verranno progressivamente descritti.

Nell'esempio mostrato, non figurano cassetti in quanto è prevista una cassettiera separata (**figura 38 B**) contenente condensatori, resistori, valvole, viteria ecc. ma è logico che essa può essere unita al banco stesso lateralmente o ad angolo, a seconda dei casi.

La cosa da tenere in massima considerazione è il fatto che detto banco deve costituire di per se stesso un piccolo laboratorio, al fine di raggruppare tutto ciò che è di immediata necessità per un tecnico, tralasciando tutto quel materiale che per quanto necessario, può necessitare in realtà solo in determinati casi.



Banco per radioamatore di trasmissione. A destra è visibile l'assieme di trasmissione montato su una robusta intelaiatura detta «rack».

Naturalmente viene realizzato in legno, possibilmente stagionato e duro, affinché assorba il meno possibile l'umidità dell'aria. A questo scopo viene normalmente verniciato con speciali vernici anigroscopiche, e ricoperto sul piano di appoggio di linoleum o di laminati plastici, fissati sul perimetro da un profilato di alluminio o in lega di alluminio.

Componenti

Resistenze fisse e variabili

Vi sono materiali che, pur essendo conduttori, presentano una resistività talmente alta che il loro migliore impiego — in elettronica — consiste nell'utilizzarli per convertire — e a volte per dissipare — l'energia elettrica in energia termica. Un esempio corrente di quanto sopra ci è fornito dalle resistenze dei comuni fornelli o di altri riscaldatori, non ultimo il saldatore elettrico che abbiamo testè visto dettagliatamente.

Se una certa quantità di detti materiali viene predisposta (ad esempio sotto forma di filo avvolto su di un apposito supporto) con due attacchi per un collegamento alle sue estremità (terminali) si ha ciò che correntemente viene definito **resistore**.

Si può fare in modo che tra i due terminali venga interposta tutta o solo una parte della resistenza presente e logicamente si ottiene un

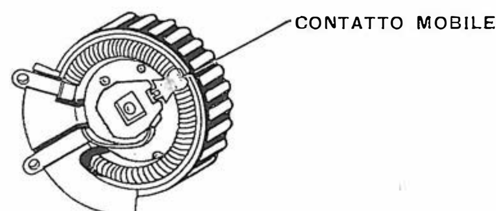


Fig. 39 B - Reostato con resistenza a filo. Una delle linguette fa capo ad un terminale della resistenza, e l'altra al cursore: entrambe sono isolate dall'involucro. Il valore resistivo tra le linguette varia da zero al massimo spostando il cursore.

resistore variabile o **reostato**. In questo caso il resistore può essere realizzato in pratica (**figura 39 B**), mediante un avvolgimento di filo di

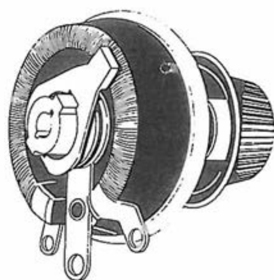


Fig. 40 B - Potenziometro: esso ha come punti di contatto, l'inizio e la fine della resistenza, nonché il cursore. È spesso previsto un collegamento cosiddetto di «massa» per la custodia metallica.

metallo speciale su supporto isolante: un'estremità è provvista di terminale per il collegamento al circuito esterno, mentre un cursore o molla di contatto, che può spostarsi lungo detta resistenza mediante un comando meccanico, sceglie il valore di resistenza desiderato e costituisce il secondo terminale.

Un altro tipo è invece a tre terminali in quanto anche la seconda estremità della resistenza è provvista di un sistema di collegamento al circuito esterno, e il cursore, nella sua corsa, viene spostato verso l'una o l'altra delle estremità. Il reostato prende allora il nome di **potenziometro.** La **figura 40 B** illustra quest'ultimo tipo.

Uno degli scopi principali dei reostati è di consentire la variazione della corrente che percorre un dato circuito. Nella sezione A della **figura 41 B** il terminale variabile A (cursore) è un braccio che può scorrere per la lunghezza della resistenza variando cosi l'ammontare della resistenza inclusa nel circuito, e di conseguenza, per una legge, detta « legge di Ohm », che esamineremo in dettaglio assai presto, la corrente.

Nella sezione B della medesima figura, l'intera tensione della batteria è presente ai capi della resistenza, mentre parte di detta tensione viene prelevata in uscita tra un capo della resistenza stessa ed il cursore: in questo secondo caso il potenziometro agisce come « partitore di tensione », e la parola stessa spiega sufficientemente la definizione, in quanto il circuito di uscita preleva « una parte » della tensione totale; in tal modo si varia contemporaneamente la corrente nel circuito di utilizzazione.

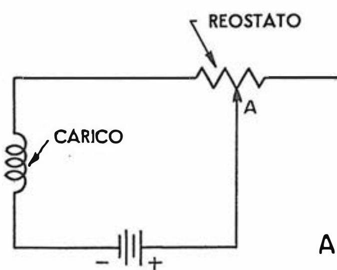


Fig. 41 B a sinistra (Sez. A) - Schema tipico di inserimento di un reostato. Spostando il cursore verso sinistra, aumenta la tensione ai capi della bobina, nonché la corrente; il contrario avviene per lo spostamento inverso.

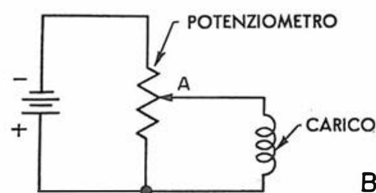


Fig. 41 B qui sopra (Sez. B) - Schema tipico di inserimento di un potenziometro. La tensione della batteria è presente ai capi dell'intera resistenza; la posizione del cursore determina l'ammontare della tensione prelevata ed applicata al carico.

In un certo senso, oltre alla lunghezza del conduttore, alla sua sezione ed alla natura del materiale di cui è composto, anche la temperatura influisce sulla resistenza. In molti conduttori, come ad esempio nel rame, nell'alluminio, nel ferro ecc., la resistenza aumenta con l'aumentare della temperatura. Alcune leghe di metalli (ad esempio la manganina e la costantana) hanno proprietà resistive che non variano in maniera apprezzabile col variare della temperatura.

La resistenza relativa di diversi conduttori aventi la medesima lunghezza e la medesima sezione può essere confrontata nella tabellina qui a lato.

Argento	1,00
Rame	1,08
Oro	1,40
Alluminio . .	1,80
Platino	7,00
Piombo . . .	13,50

Nel breve elenco della tabellina la resistività dell'argento è considerata come unità, mentre la resistività degli altri metalli è elencata in ordine progressivo crescente.

Tra i vari materiali comunemente usati per la fabbricazione delle resistenze metalliche troviamo la cosiddetta argentana, costituita da una lega di rame, nichel e zinco in varie proporzioni che determinano un aumento della resistenza con l'aumentare della percentuale di nichel: detto materiale ha un elevato coefficiente di temperatura. Le leghe di rame e nichel e di ferro e nichel hanno un'alta resistività; la prima varia da 10 a 30 volte quella del rame.

Le leghe di nichel e cromo invece hanno una resistività variabile da 60 a 70 volte quella del rame, e tali leghe si dimostrano particolarmente utili nei dispositivi funzionanti ad alta temperatura, come ad esempio nei forni elettrici. Alcune sostanze hanno caratteristiche di resistività veramente notevoli:

1 - il carbone, ad esempio, ha una resistività che varia da 400 a 2400 volte quella del rame, a seconda delle condizioni fisiche del materiale stesso, e viene ampiamente usato per la fabbricazione delle spazzole di contatto dei motori elettrici, nonché per la fabbricazione delle resistenze fisse utilizzate negli apparecchi radio e nelle apparecchiature elettroniche in genere.

2 - Il selenio, elemento appartenente alla categoria dei corpi non metallici, ha la caratteristica di diminuire la sua resistenza quando viene colpito dalla luce.

3 - Il bismuto invece ha una resistività che dipende dalla intensità del campo magnetico nel quale si trova.

Perdite termiche - Potenza

Si è trovato sperimentalmente che, quando una corrente **I** scorre attraverso una resistenza **R** per **t** secondi, la quantità di calore che si sviluppa (conseguente alla spesa di un lavoro termico espresso in **joule**) vale:

$$H = RI^2 \times t$$

in cui:

H = calore sviluppato in joule

R = resistenza in ohm

I = corrente in ampère.

t = tempo in secondi.

La quantità di calore generata in un secondo (**t** = 1) è espressa ovviamente da **RI² joule.** Ora, un **joule al secondo** viene chiamato anche **watt**, unità che esprime la portata alla quale si produce calore. Da quanto esposto si ha (*):

$$\text{watt} = \frac{H}{t} = W = RI^2$$

W = è normalmente considerato come perdita

corrispondente a I^2R, e nella maggior parte degli apparecchi commerciali, è necessario mantenere tale perdita di potenza al minimo possibile, per due motivi:

1 - essa costituisce uno spreco di energia,

2 - aumenta la temperatura interna dell'apparecchiatura.

Dal momento che un conduttore si scalda quando conduce una corrente, è importante scegliere per esso una misura, ossia una sezione tale, da evitare il riscaldamento quando scorre la corrente normale di funzionamento per il quale è previsto. Per ogni sezione dei vari conduttori è specificata la corrente massima che può essere sopportata senza provocare surriscaldamento.

Come si è già detto, in certe applicazioni, come ad esempio per le lampadine, per le resistenze di riscaldamento ecc. l'effetto termico della corrente è invece desiderato. Vi sono poi casi in cui, come ad esempio in molti apparecchi elettronici, le correnti sono talmente piccole che l'effetto di riscaldamento diventa trascurabile per cui, in tal caso, viene a decadere spesso il problema di dissipazione del calore.

Riassumendo il concetto di cui sopra: quando una corrente scorre attraverso un apparecchio elettrico, si ha consumo di un certo ammontare di potenza; questo consumo viene espresso in watt, nel caso di resistenza, mediante la formula $W = I^2R$, nella quale W è la potenza espressa in watt, **I** è la corrente in ampère, **R** la resistenza in ohm.

La potenza consumata da un resistore viene completamente dissipata in calore, per cui maggiore è la sua superficie — e più libera è la circolazione dell'aria intorno ad esso — maggiore è la facilità con la quale detto resistore può dissipare tale calore. Generalmente, un resistore di notevoli dimensioni (intendiamo dimensioni fisiche) avrà una portata in potenza maggiore di un resistore, di pari valore ohmico, di dimensioni inferiori.

I fabbricanti di resistori classificano i loro prodotti in due modi: in ohm per la resistenza, ed in watt per la potenza: tuttavia essi a volte specificano anche se un dato resistore deve essere o meno montato in spazio aperto e ad una certa distanza da qualsiasi altro oggetto onde assicurare la portata denunciata senza superare i limiti di dissipazione.

Dal momento che i resistori usati nei circuiti radio ed in altri apparecchi elettronici sono forzatamente collocati in uno spazio limitato, essi devono avere portate maggiori che non se fossero usati in conformità alle specificazioni del costruttore, e spesso vengono scelti con portate da 2 a 4 volte superiori a quelle necessarie per il medesimo lavoro in circostanze normali.

Resistori in commercio

I resistori possono essere classificati in due gruppi, a seconda del materiale da cui sono costituiti: « resistori a filo » — solitamente per portate da 2 watt e superiori — e « resistori chimici », per portate inferiori ai 2 watt.

Resistori a filo. Anche questi, a loro volta, si dividono in due tipi:

1 - « resistori fissi », aventi un valore stabile e determinato, provvisti di due terminali alle estremità, e talvolta di uno o più terminali intermedi, la cui posizione dipende dal valore di resistenza parziale desiderato.

Essi sono generalmente costituiti da un supporto di materiale isolante e resistente alla temperatura (ceramica, steatite, mica, ecc.) intorno al quale è avvolta la resistenza propriamente detta, costituita da un filo la cui sezione e la cui resistività dipende dalla potenza e dalla resistenza desiderata.

Alle estremità del supporto vengono fissati due anelli metallici stretti mediante una vite o un rivetto, il cui compito, oltre a quello di fissare l'estremità del filo, consiste nel permettere un mezzo di collegamento al resistore stesso mediante saldatura. Generalmente, una volta costruiti, questi resistori vengono ricoperti di una speciale vernice, alla quale si fa subire un processo di vetrificazione ad alta temperatura, che ha lo scopo di proteggere il filo ed evitare che le varie spire vengano in contatto tra loro; su tale vernice vengono normalmente stampigliati i valori in ohm ed in watt. Un resistore tipico, a filo, ad alto wattaggio è illustrato alla **figura 42 B.** Di tale elemento è mostrato sia l'aspetto esteriore, sia la struttura costruttiva interna.

2 - « resistori variabili » (reostati e potenziometri), aventi un valore di resistenza variabile, da zero al valore massimo: come abbiamo già detto i reostati hanno due soli terminali mentre i potenziometri hanno tre terminali.

Essi sono costituiti da una resistenza a filo, avvolta su un supporto isolante che può essere cilindrico o piatto. In qualche caso il cursore è

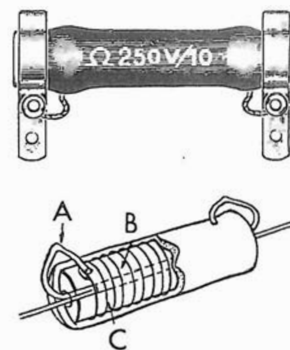
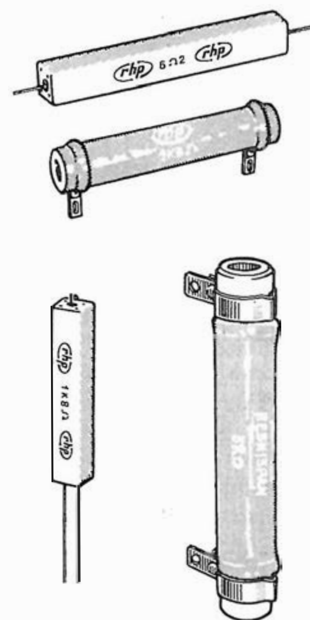


Fig. 42 B - Aspetto esterno e struttura costruttiva di resistore ad alta dissipazione (alto wattaggio). Può sopportare correnti relativamente elevate ed è protetto da uno strato di smalto. Si noti in A il filo di collegamento, in B il supporto ceramico ed in C l'avvolgimento.



Altri tipi di resistori ad elevata dissipazione. Sono racchiusi in custodia di materiale ceramico; è possibile costruirli idonei ad un fissaggio in posizione verticale.

(*) Riteniamo opportuno chiarire che l'eguaglianza qui a lato espressa e tutte le eguaglianze in genere — ossia, espressioni costituite da due membri il cui valore è eguale — prendono il nome di « equazioni ».

Il prodotto tra due o più numeri, o lettere rappresentanti valori numerici, può essere indicato tanto da un puntino posto tra di essi, come dal segno di moltiplicazione « × », quanto — ed è assai frequente con le lettere — dal semplice accostamento dei vari fattori. Come si vede a fianco, $R I^2$ significa perciò $R \times I^2$.

Dal punto di vista grafico anche la divisione può essere esposta in forme diverse; ad esempio, sempre nell'equazione di cui a lato, la divisione di « H » per « t » può essere scritta sia così come essa è riportata, come potrebbe essere anche espressa: H/t oppure H:t.

Come si sarà notato nel corso del testo sin qui esposto, le lettere vengono spesso usate per indicare determinate unità elettriche o, per meglio dire, fisiche; così qui troviamo ancora, in aggiunta a quelli noti, il simbolo **V** per indicare la tensione in genere, il simbolo **R** per indicare la resistenza in genere, e il **W** (vedi sopra) per indicare la potenza.

costituito da un anello mobile, provvisto di una vite a pressione regolabile a mano, che può essere spostato nella posizione voluta e fissato eventualmente mediante detta vite (**figura 43 B**). In altri casi invece il supporto, di forma piatta,

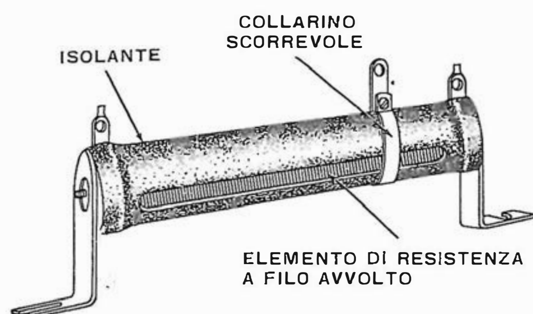


Fig. 43 B - Resistore variabile a filo. È avvolto su supporto ceramico ed è smaltato. Avendo tre terminali, è analogo al potenziometro, ma viene regolato solo saltuariamente mediante spostamento del cursore; è detto «semifisso».

viene piegato ad anello e montato su un secondo supporto provvisto di un perno o albero solidale col cursore. Alle figure 39 e 40 abbiamo già riportato due esemplari di tali resistori (reostato e potenziometro a filo). Ve ne sono poi altri tipi, cosiddetti chimici, che vedremo tra breve, dettagliatamente.

Resistori chimici. I resistori a filo di valore ohmico elevato, richiederebbero tale quantità di filo che, in pratica risulterebbero costosi ed ingombranti; i resistori di questo genere vengono realizzati facilmente ed economicamente utilizzando, al posto del filo, del carbone polverizzato e mescolato con sostanze conglomeranti.

Il rapporto tra la quantità del carbone e quella di dette sostanze determina la resistività per centimetro, ed in tal modo è possibile fabbricare resistori di vari valori. Vi sono tipi ad impasto di carbone, tipi a strato di carbone e tipi a strato metallico. Sono normalmente costituiti da un supporto isolante cilindrico (in porcellana o altro materiale analogo) sul quale è depositato uno strato del materiale resistivo.

I resistori chimici attualmente in commercio sono di varie dimensioni e di vari tipi. Un tipo consta di un supporto isolante, internamente forato, contenente la quantità di materiale resistivo necessario per dare il valore di resistenza desiderato. Il foro passante viene poi chiuso dai terminali i quali sono internamente in contatto diretto con la resistenza vera e propria.

Sui resistori, oltre al valore che viene espresso mediante un codice a colori, si trova un contrassegno che determina la precisione di detto valore (approssimazione), ossia la tolleranza denunciata dal fabbricante. Tale contrassegno è costituito da un anello che può essere in colore argento o oro, posto verso una delle estremità del corpo.

Se l'anello è di colore oro, la tolleranza è pari a ± 5%, mentre se è d'argento, essa è pari al ± 10%. Ciò significa — in altre parole — che una resistenza da 1000 ohm con anello color oro può avere un valore compreso tra 950 e 1050, mentre, nel secondo caso, il valore

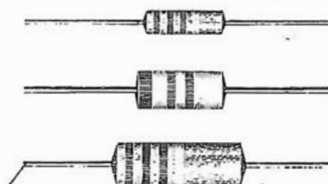


Fig. 44 B - Resistori chimici da ¼ (0,25), ½ (0,5) e da 1 watt di dissipazione, riprodotti in grandezza naturale. I valori sono indicati mediante anelli colorati la cui interpretazione è legata ad un codice internazionale. I terminali di collegamento vengono piegati secondo le esigenze.

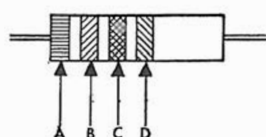


Fig. 45 B - Interpretazione del codice a colori: gli anelli colorati vanno considerati nell'ordine alfabetico indicato qui sopra in figura, sul corpo del componente, secondo un valore che risulta dal colore, come è detto nel testo.

Nero	0
Marrone	1
Rosso	2
Arancio	3
Giallo	4
Verde	5
Blu	6
Viola	7
Grigio	8
Bianco	9

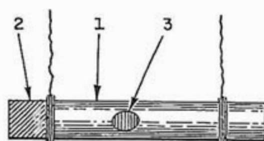
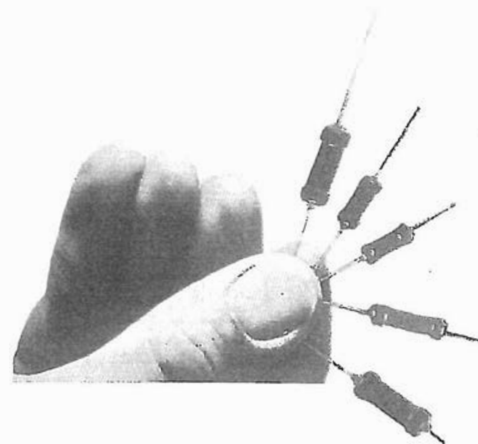


Fig. 46 B - Altro sistema di applicazione del codice: i colori sono distribuiti sul corpo, sul terminale, e su un punto centrale, nell'ordine indicato.



effettivo può essere compreso tra 900 e 1100 ohm.

L'assenza totale del contrassegno di tolleranza significa che la tolleranza stessa è del ± 20%.

Diversi tipi di resistori chimici sono illustrati dalla **figura 44 B.**

Il codice dei colori

I moderni apparecchi radio, televisori, strumenti ed altri apparecchi elettronici, utilizzano ovviamente resistori di vari valori, e, allo scopo di provvedere alla riparazione col massimo risparmio di lavoro e di tempo, è stato necessario permettere al tecnico di riconoscere rapidamente tale valore. Si è stabilito di esprimere il valore mediante i colori, ad ognuno dei quali è stato assegnato un valore numerico come segue:

METODO A (**figura 45 B**). Si tratta del metodo più diffuso. Si usa distribuire sul corpo del resistore 4 anelli colorati i quali, considerati, a partire da una estremità in direzione del centro, indicano il valore ohmico.

Il numero corrispondente al primo colore indica la prima cifra, quello corrispondente al secondo colore indica la seconda cifra, quello invece corrispondente al terzo colore indica il numero degli zeri da aggiungere alla cifra ottenuta, onde avere il valore effettivo della resistenza, mentre il quarto anello — che può anche essere assente, o, nel caso sia presente, può essere color oro o argento — indica la tolleranza, come detto precedentemente.

Ad esempio, un resistore di 10 000 ohm avrà, nell'ordine enunciato — ossia da una estremità in direzione del centro — un anello color marrone, uno nero, uno arancio ed infine uno colore argento se la tolleranza è del ± 10%.

METODO B (**figura 46 B**). Secondo questo secondo metodo, che sta scomparendo, si considera il colore del corpo del resistore, di un punto presente su di esso, e di un terzo colore presente su una estremità.

Il primo colore indica la prima cifra, il colore del terminale la seconda, ed il colore del punto indica il numero degli zeri; la tolleranza può essere espressa dal colore (argento o oro) presente sull'altra estremità del corpo.

Potenziometri chimici

I potenziometri chimici sono analoghi a quelli a filo, con l'unica differenza che, essendo destinati all'uso con correnti molto deboli, possono essere di dimensioni notevolmente inferiori e di valore notevolmente più alto.

Essi constano di uno strato di grafite depositato su di un corpo isolante, generalmente cartone bachelizzato, in quantità tale da formare, tra le estremità, il valore ohmico desiderato. Il supporto ha una forma a corona circolare, e, nel punto di inizio, e di fine della resistenza, porta due pagliette che permettono il collegamento mediante saldatura.

Esso è inoltre montato su di un secondo supporto che alloggia una bussola porta-perno. In essa ruota l'albero centrale che pur essendo solidale col cursore, è isolato da questo. Il cursore, a sua volta, è in contatto con una terza paglietta posta in centro alle altre due, sia mediante un filo avvolto a spirale — in modo da non rompersi a causa delle continue rotazioni — sia mediante un contatto strisciante che garantisce la continuità del collegamento per qualsiasi angolo di rotazione.

Questo tipo di potenziometro — che può essere utilizzato anche come reostato trascurando il collegamento ad una delle estremità — viene generalmente usato come controllo di tono o di volume nei comuni apparecchi radio, di « contrasto » e di « luminosità » negli apparecchi televisivi, o per scopi speciali in alcuni strumenti elettronici.

I potenziometri a grafite, o chimici, vengono posti in commercio in varie forme e dimensioni, ed alcuni di essi sono detti « con interruttore », in quanto dalla parte opposta a quella dove si estende il perno di comando, portano un dispositivo a scatto che permette l'apertura o la chiusura di un circuito completamente indipendente da quello del potenziometro stesso.

Tale dispositivo è realizzato in modo tale che, ruotando il perno in senso antiorario, si determina l'apertura dell'interruttore, e, ruotando in senso orario a partire dal punto di fermo, se ne determina la chiusura mediante la rotazione dei primi 20 o 30 gradi: naturalmente, poiché tale parte di rotazione del perno è dedicata soltanto al funzionamento dell'interruttore, si fa in modo che il cursore del potenziometro — il quale si sposta contemporaneamente — scorra su una parte della resistenza coperta da uno strato metallizzato e, in realtà, privo praticamente di resistenza, alla fine del quale ha inizio lo strato resistivo vero e proprio. Quest'ultimo tipo viene usato negli apparecchi per abbinare l'interruttore di accensione ad esempio al comando di volume o a quello del tono.

La **figura 47 B** illustra un esemplare normale, un esemplare con interruttore ed un altro ancora, doppio con interruttore, nonché un modello detto « semifisso » il cui valore viene variato solo eccezionalmente, mediante cacciavite.

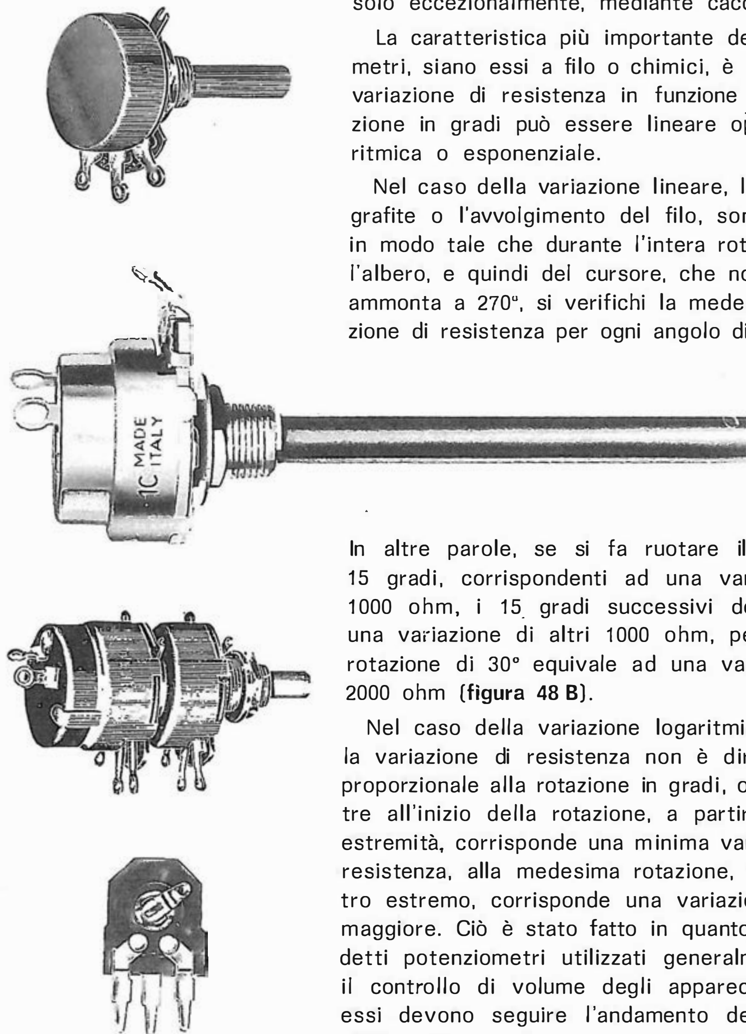


Fig. 47 B - Potenziometri chimici o a grafite. La resistenza è racchiusa in un involucro metallico che reca talvolta un interruttore azionato dall'albero del potenziometro. È anche possibile abbinare assialmente diversi potenziometri tutti comandati dal medesimo albero. Alcuni modelli, come l'ultimo qui riprodotto, sono molto piccoli: possono essere montati sia verticalmente che orizzontalmente e vengono regolati una volta tanto.

La caratteristica più importante dei potenziometri, siano essi a filo o chimici, è che la loro variazione di resistenza in funzione della rotazione in gradi può essere lineare oppure logaritmica o esponenziale.

Nel caso della variazione lineare, lo strato di grafite o l'avvolgimento del filo, sono disposti in modo tale che durante l'intera rotazione dell'albero, e quindi del cursore, che normalmente ammonta a 270°, si verifichi la medesima variazione di resistenza per ogni angolo di rotazione. In altre parole, se si fa ruotare il perno di 15 gradi, corrispondenti ad una variazione di 1000 ohm, i 15 gradi successivi determinano una variazione di altri 1000 ohm, per cui una rotazione di 30° equivale ad una variazione di 2000 ohm (**figura 48 B**).

Nel caso della variazione logaritmica invece, la variazione di resistenza non è direttamente proporzionale alla rotazione in gradi, ossia, mentre all'inizio della rotazione, a partire da una estremità, corrisponde una minima variazione di resistenza, alla medesima rotazione, verso l'altro estremo, corrisponde una variazione molto maggiore. Ciò è stato fatto in quanto, essendo detti potenziometri utilizzati generalmente per il controllo di volume degli apparecchi radio, essi devono seguire l'andamento della sensibilità dell'orecchio umano alla variazione dell'intensità del suono percepito, la quale ha un andamento logaritmico, ossia non lineare.

Nello studio dei vari circuiti, sia degli apparecchi per radiocomunicazioni che delle varie apparecchiature, tra le quali non sono da escludere gli strumenti di misura, troviamo a volte che, per determinati scopi, si utilizzano potenziometri a variazione logaritmica inversa.

Come abbiamo detto, la variazione di resistenza nei potenziometri logaritmici non è lineare in quanto ad ogni spostamento del cursore corrispondono variazioni diverse di resistenza, e, mentre nei tipi normali detto andamento della variazione è in aumento man mano che il cursore ruota in senso orario, nei tipi a variazione logaritmica inversa esso attua una diminuzione man mano che il cursore ruota, sempre in senso orario; in altre parole, con andamento esattamente opposto a quello che si verifica nei tipi a variazione logaritmica normale.

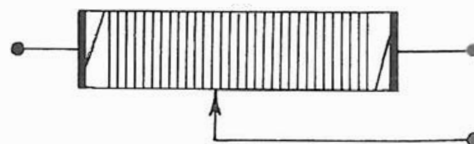


Fig. 48 B - Se in un potenziometro la resistenza è avvolta su di un supporto di forma rettangolare, la variazione di resistenza prodotta dalla rotazione del cursore è lineare.

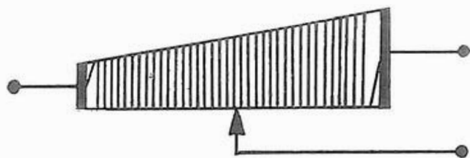


Fig. 49 B - La resistenza collocata all'interno di un potenziometro a variazione non lineare si presenta secondo questa esecuzione del supporto. Le spire dell'estremità sinistra, più corte, hanno minore resistenza di quelle all'estremità destra. Variando la forma del supporto si modifica l'andamento della variazione.

Negli strumenti di misura si trovano a volte tali tipi di potenziometri, ma a filo invece che chimici, ed il sistema di variazione può, in questo caso, essere ottenuto in due modi: il primo consiste nel cambiare la sezione del filo costituente la resistenza, lungo i vari tratti, ed il secondo invece nel variare la forma del supporto isolante sul quale esso è avvolto, facendo in modo che il suo sviluppo, normalmente rettangolare, abbia invece una forma triangolare. In tal modo, come mostra la **figura 49 B**, la variazione di resistenza man mano che il cursore si sposta verso l'estremità più alta aumenta, e viceversa.

Il telaio o "chassis"

Qualsiasi apparecchiatura elettronica, semplice o complessa, viene normalmente montata su di un telaio, altrimenti detto « chassis » (**figura 50 B**).

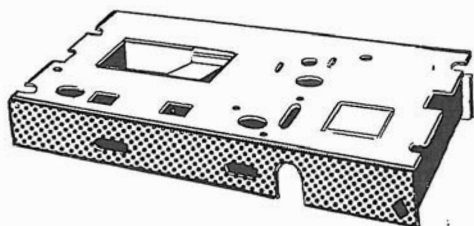


Fig. 50 B - Aspetto di un telaio o «chassis» prima del montaggio. I fori di varie forme e misure sono predisposti per il montaggio dei componenti più ingombranti. I componenti di minori dimensioni (resistori, condensatori, ecc.), vengono a far parte del cablaggio e restano opportunamente collocati al di sotto dello «chassis».

Esso ha il compito di raggruppare tutti i componenti di maggior peso e volume, affinché costituiscano una struttura rigida che ospita — all'interno ed all'esterno — i collegamenti elettrici nonché i componenti minori che nell'assieme costituiscono il circuito.

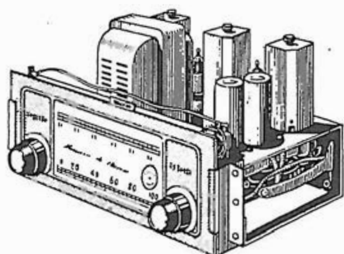


Fig. 51 B - Telaio di ricevitore montato. Sono visibili valvole e trasformatori. I componenti minori che completano i vari circuiti sono invece alloggiati nell'interno.

La tecnica costruttiva del telaio deve considerare in primo luogo la massima economia di spazio, al fine di poter collocare gli organi ad una minima distanza tra loro, evitando collegamenti troppo lunghi, pur realizzandosi un montaggio razionale che consenta cioè di accedere ai vari componenti con una certa comodità.

I telai in commercio — e quelli utilizzati dalle fabbriche per i loro diversi apparecchi — sono di vari tipi e dimensioni, a seconda dell'uso: nelle realizzazioni non di serie sono generalmente di alluminio o di leghe di tale metallo, ottenendosi un peso minimo, ed una certa facilità di lavorazione, in quanto l'alluminio si presta alla foratura ed alla piegatura meglio di altri metalli più duri.

Nelle apparecchiature di una certa consistenza, come ad esempio amplificatori, televisori, radar, ecc. si preferisce l'uso di chassis in ferro la cui rigidità permette maggiore stabilità meccanica d'assieme e l'impiego dei componenti più pesanti che si richiedono in tal caso, quali grossi trasformatori, ampi pannelli di comando, ecc.

Data la facilità con cui il ferro si ossida, il telaio viene protetto con cadmiatura, nichelatura, o verniciatura.

La figura 50 mostra un telaio prima del montaggio e la **figura 51 B**, un telaio montato, visto dal di sopra: è facile notare la disposizione dei diversi componenti fissati con viti, oppure con rivetti o ribattini — sia direttamente, sia a mezzo di opportune squadrette — mentre all'interno si hanno i vari collegamenti diretti o indiretti attraverso componenti, quali condensatori, resistori, ecc. componenti che impareremo a conoscere singolarmente quanto prima.

Una delle cose più difficili da apprendere, sebbene in apparenza semplice, nello studio dell'elettronica, è la progettazione di un telaio, in quanto essa è possibile solo quando siano state acquisite tutte le cognizioni relative alle relazioni e influenze reciproche tra i vari componenti.

La miniaturizzazione di questi ultimi, ottenuta recentemente attraverso notevoli perfezionamenti, ha permesso la realizzazione di speciali telai che, oltre a costituire un supporto rigido per i componenti, costituiscono il circuito stesso. Si tratta di quei « circuiti stampati », già ripetutamente accennati, realizzati su supporti di materiale isolante sul quale, mediante un procedimento fotochimico, viene riprodotto l'intero circuito ricavandolo, con una buona parte dei collegamenti principali, da una sottile lastra metallica aderente al supporto isolante.

In questo caso, ogni collegamento termina con un foro praticato nella piastra di supporto, nel quale foro si introduce il terminale del componente da collegare in quel punto; segue la fase di saldatura che, industrialmente, viene realizzata in un'unica operazione.

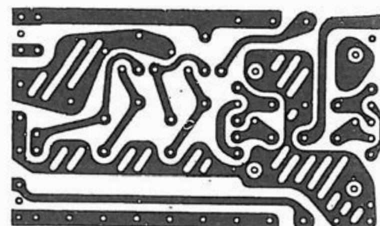


Fig. 52 B - Circuito stampato. I collegamenti sono costituiti da settori di sottile laminato di rame ricavati con procedimento fotochimico su una basetta. I componenti sono fissati tra i fori con saldatura a stagno.

Tali tipi di circuiti, uno dei quali è visibile alla **figura 52 B**, hanno segnato un'epoca nella storia dell'elettronica in quanto hanno permesso una enorme riduzione del tempo necessario per il montaggio di un apparecchio, riducendo contemporaneamente il costo e la possibilità di guasti.

Su questo argomento e sugli ulteriori sviluppi (circuiti a film spesso ed a film sottile) torneremo ancora, tra breve.

Interruttori - deviatori - commutatori

Compito di un « interruttore », come dice la parola stessa, è di « interrompere » il passaggio di una corrente elettrica.

Oltre alla sola azione di « interrompere », si presenta spesso la necessità, per determinate ragioni, di inviare detta corrente alternativamente ad un conduttore o ad un altro, e questo semplice compito spiega di per sé il funzionamento del « deviatore ».

Vedremo anche come, assai spesso, sia necessario disporre di un dispositivo che permetta di inviare la medesima corrente su vari conduttori, contemporaneamente o separatamente; per ottenere ciò si impiegano accessori analoghi ai deviatori, ma più complessi, detti normalmente « commutatori ». Quanto segue chiarirà meglio i concetti ora esposti.

Interruttori. Si intende, per interruttore, un dispositivo che, munito di due contatti separati, permette, mediante il funzionamento di una leva o di altro, sia di mettere questi ultimi in unione tra loro, che — con operazione inversa — isolarli.

La **figura 53 B** mostra due tipi di interruttori nei quali appare evidente quanto si è detto: come si vede, essi presentano una notevole analogia con quelli usati nei comuni impianti di illuminazione per accendere o spegnere una lampadina o qualsiasi altro dispositivo azionato dalla corrente elettrica, ed i tipi usati in elettronica hanno l'unica differenza di essere realizzati in forme adatte al montaggio su pannelli, quadri di comando o chassis, secondo una estetica conforme a tali apparecchiature.

Gli interruttori più comuni sono a pulsante o a leva; la speciale forma di questi ultimi determina la definizione di « interruttori a pallina » o a « levetta ». Il contatto tra i due « poli » viene stabilito da un corpo metallico che, grazie alla pressione della molla azionata dalla leva esterna, si sposta con uno scatto più o meno accentuato, stabilendo il dovuto contatto oppure togliendolo. Si hanno anche, assai spesso, interruttori rotativi, azionati cioè con la rotazione di un perno, generalmente per un angolo di 30°. Si possono osservare in figura 47 B abbinati a potenziometri.

Deviatori. Come si è detto precedentemente, i deviatori vengono impiegati per « deviare » una corrente da un conduttore ad un altro. Nella **figura 54 B** si può notare la forma di un paio di tipi, nei quali sono presenti tre o quattro contatti: nel primo caso la parte mobile azionata dalla leva a molla costituisce il cosiddetto polo « comune » in quanto porta la corrente da deviare, mentre gli altri due, scelti dalla posizione assegnata alla leva stessa, costituiscono le due linee di utilizzazione.

Nel secondo caso invece la parte mobile è indipendente, ossia essa non deve essere direttamente collegata, bensì ha il compito di mettere in contatto tra loro le coppie di contatti opposti. Se ognuna di dette coppie ha un contatto in comune con uno dell'altra, il dispositivo è un vero e proprio deviatore, mentre se le due coppie sono isolate tra loro il dispositivo può essere considerato un « commutatore », in grado cioè di chiudere o un circuito o un altro, sia questo parte del primo o indipendente.

Per meglio rendere l'idea, possiamo rilevare l'analogia con gli impianti di illuminazione domestica anche in questo caso; è infatti facile notare in certe installazioni, specie nel caso del lampadario multiplo, un deviatore utilizzato per accendere la sola lampadina centrale, oppure le lampadine montate intorno a questa ultima.

Commutatori. Come il termine stesso indica, il commutatore viene utilizzato per « commutare » una corrente su due o più linee, oppure, nel caso di commutatore complesso, per commutare più correnti su più linee.

A differenza del deviatore, esso consiste di un supporto centrale mobile, detto « rotore », munito di uno o più contatti, a seconda dei casi, e di una serie di contatti periferici, costituenti lo « statore », presentante tutti i contatti relativi alle varie linee.

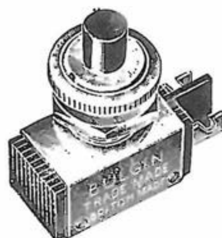
Nel caso del commutatore è necessario chiarire i concetti di « via » e di « posizione »: si intende per via una linea in grado di essere inserita, e per posizione lo scatto che determina l'inserimento di una linea.

Per questo motivo esistono commutatori a più vie ed a più posizioni. Ad esempio, un commutatore a due posizioni e due vie può commutare due correnti diverse ed ognuna su due linee, e così, un commutatore a cinque vie e otto posizioni può commutare cinque correnti diverse ed ognuna su otto linee.

Come nel caso degli interruttori e dei deviatori, i commutatori vengono posti in commercio in varie forme e dimensioni; le **figure 55 B** e **56 B** illustrano tipi tra i più correnti.

Una caratteristica comune a tutti questi organi è la necessaria sicurezza di contatto, determinata dalla natura dei metalli impiegati e dal sistema di contatto, nonché dall'attrito e dalla pressione dei contatti mobili nei confronti di quelli fissi.

Le dimensioni dipendono generalmente dalla « tensione » che tali dispositivi devono poter



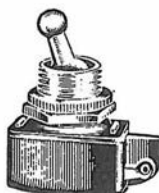
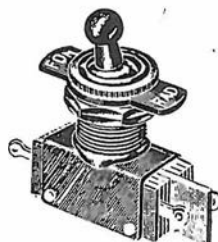


Fig. 53 B - Piccoli interruttori. Lo scatto di una levetta, o la pressione su di un pulsante, determina la chiusura del contatto tra le due linguette laterali.



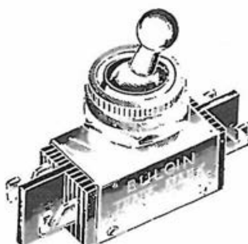


Fig. 54 B - Due tipi di deviatori, di cui uno a 2 vie con un contatto in comune, ed uno a 2 vie con contatti indipendenti.

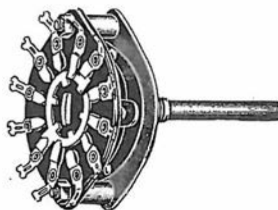


Fig. 55 B - Commutatore ad una sezione, con due vie e cinque posizioni.

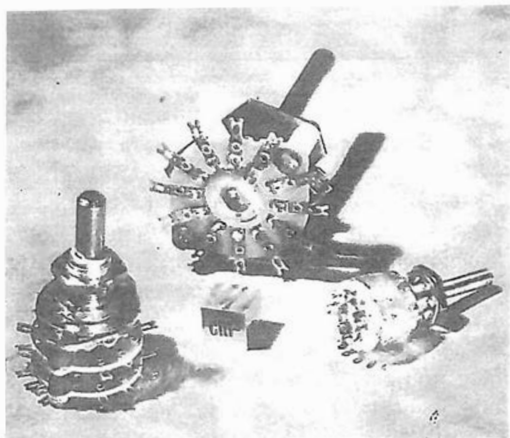


Fig. 56 B - Commutatori a più vie e più sezioni. Solitamente l'albero effettua scatti rotativi di 30° per cui su ciascuna piastra trova posto un massimo di 12 pagliette di contatto. In basso, a destra, un modello molto compatto.

sopportare senza dare luogo a scariche o a scintillio, e dalla « corrente » che li attraversa. Infatti, si noterà che un interruttore o un deviatore o infine un commutatore, che debbano sopportare tensioni di qualche centinaio di volt, hanno caratteristiche meccaniche differenti da quelli destinati a sopportare tensioni molto inferiori. Infine quelli per alte tensioni, dell'ordine di migliaia di volt, sono montati su rotori e statori in ceramica o in steatite, ad alto coefficiente di isolamento.

Analogamente, per correnti deboli, si usano contatti piccoli ed a bassa pressione, mentre nel caso di correnti notevoli i contatti sono di dimensioni maggiori, ossia più massicci, e la pressione di contatto è maggiore, con un conseguente aumento dello sforzo meccanico necessario per effettuare la commutazione o scatto.

I migliori commutatori presentano i contatti in metallo argentato o addirittura in lega di argento, al fine di assicurare la minima resistenza elettrica, resistenza che sarebbe nociva se elevata, e di evitare, per quanto possibile, l'ossidazione dovuta alle scintille che si producono all'atto della chiusura o dell'apertura di un circuito nel quale sta circolando corrente.

Alcuni commutatori, dei tipi più complessi, come quello mostrato in **figura 57 B**, sono realizzati in diverse sezioni o piani, i quali sono costituiti da statori uniti tra loro da lunghe viti con opportuni distanziatori sì da permettere una sufficiente rigidità del dispositivo, e da rotori coassiali (liberi di muoversi ognuno rispetto al proprio statore, azionati tutti contemporaneamente dal medesimo albero di rotazione).

Le applicazioni di questi componenti sono innumerevoli nel campo della elettronica, e non mancheremo di constatarne l'utilità man mano che ci addentreremo nello studio delle realizzazioni pratiche.

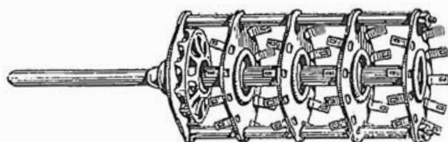


Fig. 57 B - Commutatore rotante a 4 sezioni. Questo tipo di commutatore, come del resto quelli già visti nelle figure 55 e 56 B generalmente non tollerano correnti elevate.

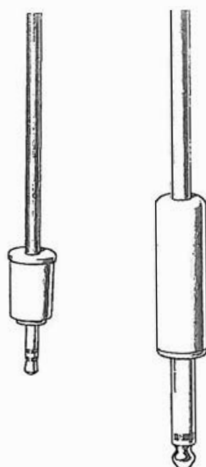








Fig. 58 B - Spinotti a «jack»: la punta è isolata dal corpo e costituisce con esso i due contatti.

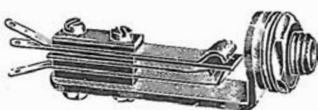


Fig. 59 B - Presa per spinotti a «jack». Vi sono vari tipi, con o senza chiusura o apertura automatica di circuiti.

Il "jack"

Tra i vari accessori lo spinotto a jack occupa un posto importante in quanto permette l'inserzione (collegamento) ed il distacco di un organo esterno al circuito raggruppato sul telaio, mediante una rapida azione di inserimento o di estrazione nei confronti di una apposita presa.

Esso è costituito essenzialmente da un corpo metallico cilindrico, internamente forato. In detto cilindro si trova coassialmente un altro cilindro, di materiale isolante, a sua volta forato, ove alloggia un secondo conduttore che fa capo esternamente ad una sfera costituente il secondo polo. All'altra estremità si trova la cosiddetta impugnatura — che può essere in metallo o in materiale isolante — ed il cui compito, oltre a quello denunciato dal suo stesso nome, consiste nel proteggere e racchiudere i punti di collegamento del cavo che si allaccia all'organo esterno.

Questo tipo di spina, analogo alla banana, ma che si differenzia da questa in quanto è bipolare, è utile anche per il collegamento di cavi schermati dei quali continua la funzione perché la parte esterna, se metallica, agisce da schermo nei confronti di quella interna. La **figura 58 B** riporta alcune esecuzioni di spina a jack tra le più correnti.

La presa alla quale il jack deve essere collegato viene normalmente fissata al telaio o ad un pannello, ed il suo aspetto normale è illustrato nella **figura 59 B**; si notano, il dado di fissaggio con l'apposita bussola, la squadretta di supporto, e le mollette di contatto, una delle quali preme sulla parte metallica esterna della spina, mentre l'altra preme sulla sfera terminale della stessa stabilendo così il contatto col conduttore centrale.

I diversi impieghi di questo tipo di spina ne hanno resa necessaria la costruzione in vari modelli. In alcuni di essi si hanno tre o anche quattro contatti contemporaneamente e la presa corrispondente ha altrettante mollette di contatto che agiscono sui vari segmenti terminali isolati tra loro.

Poiché in certi casi è necessario che un circuito sia chiuso attraverso l'organo esterno quando il jack è inserito nella presa, e cortocircuitato quando esso è disinserito, alcune prese hanno dei dispositivi speciali i quali, sfruttando l'elasticità delle mollette di contatto, fanno sì che queste si trovino a contatto con una altra fissa quando il jack è disinserito, e ne vengano allontanate quando invece esso viene inserito. La **figura 60 B** illustra schematicamente alcune prese che si differenziano appunto per le varie combinazioni di commutazione verificantesi con l'inserimento dello spinotto.

Sfruttando il medesimo principio, è possibile realizzare dei tipi di interruttori o di deviatori o infine di commutatori multipli, costituiti da

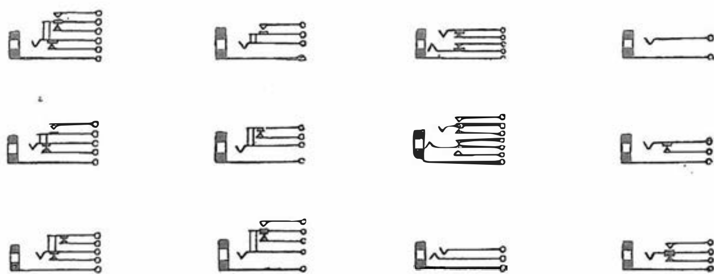


Fig. 60 B - Schematicamente le prese per spinotti a «jack» vengono così disegnate. L'inserimento dello spinotto determina lo spostamento delle mollette di contatto, le quali azionano altri contatti con esse meccanicamente solidali.

una presa a jack nella quale la spina, inseribile a diverse profondità, permette l'apertura e la chiusura di vari circuiti contemporaneamente o successivamente.

Fusibili

In tutte le apparecchiature elettroniche sussiste la possibilità che, accidentalmente, alcuni conduttori od altri elementi del circuito elettrico vengano in diretto contatto tra loro o con la massa del telaio metallico, oppure che un componente modifichi le proprie caratteristiche operative al punto di determinare il passaggio di una corrente eccessiva.

È facilmente intuibile che la presenza nel circuito di una intensità di corrente troppo elevata può portare facilmente al completo danneggiamento dell'apparecchiatura, costituendo anche causa remota di incendio. Per ovviare a tali pericoli si impiega un particolare dispositivo di sicurezza noto come « fusibile » che viene posto praticamente in serie a quei circuiti nei quali, con maggiore facilità e frequenza, può attuarsi la disfunzione citata oppure, colà dove verificandosi può causare maggiore danno.

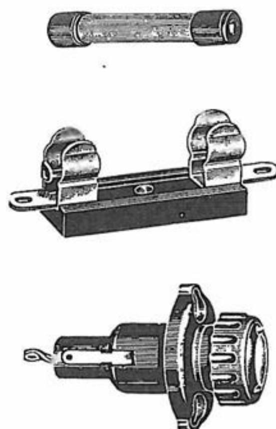


Fig. 61 B - Aspetto di un elemento di fusibile, di un portafusibile a mollette di contatto e, sotto ad essi, di un portafusibile da pannello del tipo a contenitore cilindrico. A lato, un modello simile al primo, con cartuccia estratta e con cartuccia inserita.

Un fusibile consiste fondamentalmente in uno spezzone di conduttore che possiede una portata di corrente definita, e che fonde, interrompendo il circuito nel quale è inserito, quando tale portata viene superata.

I fusibili destinati ad essere impiegati sulle apparecchiature elettroniche sono normalmente di forma cilindrica e sono formati da un tubetto di vetro o di steatite chiuso alle due estremità da due coppette metalliche (che fungono da contatti terminali) entro il quale è contenuto l'elemento fusibile vero e proprio (**figura 61 B**). Per un pratico montaggio nella apparecchiatura elettronica, il fusibile viene inserito in un apposito contenitore che, a secondo della comodità di utilizzazione, si presenta in varie esecuzioni Due fra le più comuni esecuzioni sono quella a morsetto e quella a contenitore cilindrico. Taluni contenitori di quest'ultimo tipo prevedono, come variante, la presenza di una piccola lampadina al neon sistemata nel cappuccio del contenitore stesso che si illumina segnalando la « bruciatura » del fusibile.

I valori che contraddistinguono la portata dei fusibili variano normalmente da 0,01 a 30 ampère per tensioni fino a 250 volt (per circuiti di forte potenza la gamma delle portate si estende fino a 100 ampère e oltre).

Lampade e spie luminose

Nelle apparecchiature elettroniche in generale le lampadine trovano fondamentalmente impiego in qualità di elementi capaci di segnalare la condizione di funzionamento di un certo apparecchio o di un determinato circuito. Taluni radioricevitori di tipo domestico dispongono di una scala illuminata mediante piccole lampadine montate dietro un vetro translucido sulla superficie esterna del quale sono stampigliate le diciture relative alle stazioni ed alle lunghezze d'onda che l'apparecchio può captare.

Dobbiamo tuttavia osservare che tale impiego delle lampadine negli apparecchi di tipo domestico va diventando sempre più raro, data la facilità relativa con la quale tali elementi possono « bruciarsi » e la conseguente difficoltà da parte dell'utente medio, di provvedere alla loro sostituzione, mentre invece permane tutt'ora nell'ambito dei radioricevitori professionali.

Normalmente le lampadine usate negli apparecchi elettronici hanno una lunghezza inferiore a 2,5 cm ed un diametro di 7 o 8 mm, mentre lo zoccolo di contatto può essere del tipo così detto a « baionetta », oppure « edison » microminiatura (**figura 62 B**). Le lampadine di più comune impiego sono previste per consumi compresi fra 0,02 fino a 2,75 ampère e per tensioni di esercizio variabili da 2,2 fino a 220 volt, sebbene i tipi di più frequente impiego siano previsti per una tensione di esercizio di 6,3 o di 21 volt.

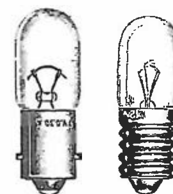


Fig. 62 B - Lampadine a filamento per spie luminose. A sinistra il tipo con base a baionetta e accanto, quello con attacco edison.

Diversamente dal tipo cui abbiamo accennato e che è detto a filamento, esistono altri tipi di lampade che sono dotate di due elettrodi spaziati, immersi in atmosfera di gas neon o argon,

ove l'illuminazione del bulbo è provocata dalla ionizzazione del gas.

Frequentemente lampade di segnalazione al neon o all'argon vengono utilizzate come indicatori della presenza di una differenza di potenziale.

Alle lampadine di questo tipo si vanno ora sostituendo altri dispositivi luminosi che prendono il nome di **diodi LED** e che analizzeremo durante lo studio dei **semiconduttori.**

I portalampade per le spie luminose possono assumere svariatissime foggie alcune delle quali, del tipo per montaggio su pannello, sono illustrate in **figura 63 B.** Detti portalampade possono essere di metallo o di bachelite, recano frontalmente una coppetta trasparente e colorata di vetro o di plastica, detta gemma, e nella parte retrostante le due terminazioni di collegamento che, a seconda dei casi, possono assumere l'aspetto di semplici pagliette sulle quali i fili di collegamento saranno fissati mediante saldatura, oppure di veri e propri morsetti con vitina di bloccaggio a pressione.

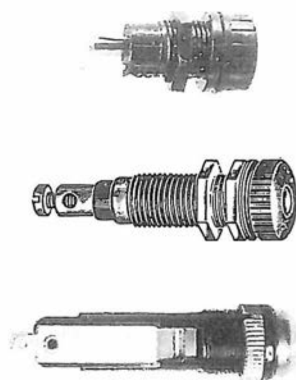


Fig. 63 B - Alcuni modelli di spie luminose per montaggio su pannello. Sono sempre più spesso sostituite da diodi LED (diodi luminosi).

Il cambio - tensioni

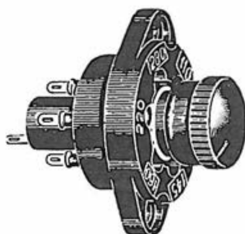
Alcuni apparecchi elettronici, in particolare quelli destinati ad impieghi domestici, sono previsti per poter funzionare con qualsiasi tensione della rete elettrica di alimentazione. Il componente che consente di attuare in modo pratico e rapido tale adattamento prende il nome di « cambiotensione » e può assumere un aspetto diverso pur rimanendo immutato il suo concetto operativo.

Il cambiotensione infatti, due varianti esecutive del quale sono illustrate in **figura 64 B**, è fondamentalmente un commutatore ad una via ed a tante posizioni quante sono le tensioni di rete alle quali si intende poter adattare l'apparecchio in questione. Un pomello variamente foggiato recante un segno di riferimento viene spostato, normalmente per spostamento angolare, sul valore di tensione prescelto, contrassegnato da una scritta sul corpo del componente.

Riteniamo opportuno far notare al lettore che il cambiotensioni è un componente che si è reso necessario in particolar modo allorché le reti di energia elettrica non erano ancora unificate su di un valore unico di tensione. Attualmente, poiché in pratica questo obiettivo è stato raggiunto (220 volt), il cambiotensioni viene previsto sempre più di rado nelle apparecchiature.



Fig. 64 B - Due tipici cambiotensioni. A sinistra un tipo a piastrina e a destra uno rotativo.



I montaggi sperimentali

Molte volte il tecnico o il radioamatore intendono realizzare un montaggio che ha scopi essenzialmente sperimentali; esso non viene concepito cioè come esecuzione definitiva. In questo caso, per l'unione elettrica dei componenti e per la loro installazione meccanica non si può pensare di fare ricorso al telaio o al circuito stampato di cui abbiamo detto perché, evidentemente, si tratterebbe di una soluzione onerosa e del tutto fuori luogo.

Allo scopo vi sono in commercio materiali idonei che facilitano il caso in questione. Si tratta di basette di materiale isolante del tutto simili a quelle dei circuiti stampati, che recano su di un lato strisce di rame con foratura così come si può osservare alla **figura 65 B.** Inserendo opportunamente i componenti dall'altro lato (**figura 66 B**) si utilizzano le singole strisce come collegamenti. È interessante rilevare che le strisce possono essere (come si vede nella prima figura) facilmente interrotte (allargando la foratura con una fresa o una punta da trapano) in modo da avere, se necessario, punti di ancoraggio alla stessa altezza, ma isolati elettricamente tra di loro.

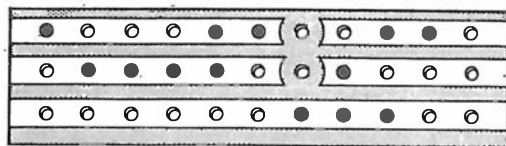


Fig. 65 B - Le dimensioni di queste piastre forate, pronte, variano da 50 a 200 cm²; i passi di foratura sono solitamente di 2,5 - 4 - 5 - 10 mm, lo spessore di 1,5 mm, il diametro dei fori di 0,8 - 1 - 1,35 e 1,5 mm.

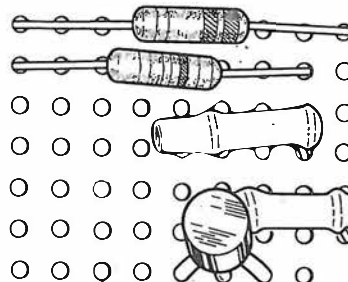


Fig. 66 B - Si può prevedere una lunghezza diversa del gambo dei componenti (vedi qui sopra i due resistori) per introdurlo nel foro più appropriato al collegamento con gli altri componenti. Per i montaggi non unicamente sperimentali ma destinati ad apparecchiature stabili, vi sono custodie, pannelli, scatole ed accessori appositi.

Vi è una vasta scelta, come dimensioni, passo di foratura, numero di strisce, e vi è scelta anche nel tipo di isolante (bachelite, resina di vetro, ecc.). Vi sono tipi che hanno strisce con una certa zona finale senza foratura di modo che, se con la basetta è stato costruito un modulo, esso può essere innestato (ed estratto) in apposito alloggiamento provvisto di mollette di contatto (si veda, in proposito, a pagina 24 B).

I circuiti stampati

Questo sistema di collegamento tra i componenti di un dispositivo elettronico, specie se transistorizzato, ha subíto — in questi ultimi anni — uno sviluppo tale da portarlo ad essere ormai preso in considerazione nella quasi totalità delle applicazioni.

Come è logico supporre, anche nell'industria elettronica si cerca di rendere minimi i costi di produzione, senza tuttavia compromettere — anzi, se possibile migliorandole — le caratteristiche di praticità, di sicurezza di funzionamento, e di durata.

Nella costruzione di un'apparecchiatura elettronica, dopo aver provveduto al cosiddetto montaggio meccanico, si procede al montaggio elettrico, che consiste — come ben sappiamo — nel collegare tra loro tutti i componenti costituenti il circuito. Ciò significa che, se si impiegano i noti fili conduttori, per il massimo risparmio di tempo, ossia di mano d'opera, e quindi di costo, è indispensabile, nelle produzioni di serie di una certa entità, prepararli già tagliati in misura, già piegati ove necessario, e predisposti — in altre parole — per l'applicazione tra due o più punti da connettere tra loro.

Un'altra operazione, che con questo sistema diventa indispensabile, consiste nel ravvivare le estremità di detti collegamenti, ricoprendoli di un leggero strato di stagno, al fine di facilitare al massimo la saldatura. Ciò comporta, come è ovvio, una lunga serie di operazioni, tanto più complesse, quanto maggiore è il numero dei collegamenti da effettuare in ogni singolo apparecchio.

È per questo motivo che la tecnica moderna si è orientata sempre più verso le applicazioni dei circuiti stampati, il cui uso è stato esteso — ripetiamo — a quasi tutto il campo dell'elettronica, in modo particolare **alle applicazioni il cui funzionamento si basa sull'uso dei transistori e dei circuiti integrati**. Televisori, calcolatori, cervelli elettronici, strumenti di misura, radioricevitori, ecc., presentano la maggior parte del « cablaggio » sotto forma appunto, di circuito stampato ed in questi ultimi tempi vi è la tendenza a realizzare con essi settori diversi dell'apparecchio che prendono il nome di **moduli**, e che — inseriti ad innesto su di una base anch'essa a collegamenti stampati — si interconnettono.

Impiego

Come la parola stessa suggerisce, i circuiti stampati non sono altro che un « disegno » dei collegamenti su di un supporto; tali collegamenti sono disposti in modo tale che è possibile collegare ai loro terminali, o in punti intermedi, i diversi componenti che costituiscono il circuito vero e proprio.

In realtà il termine « circuito stampato » viene usato in modo improprio, in quanto si dovrebbe distinguere tra **circuiti stampati** e **collegamenti stampati.**

A suo tempo, ossia all'inizio dell'evoluzione di questa tecnica, furono realizzate delle basette di supporto, sulle quali erano stampati non soltanto i collegamenti, bensì anche alcuni componenti, come ad esempio resistori, condensatori, bobine, ecc. Salvo che per le bobine, che in alcuni casi è ancora utile realizzare sotto questa forma, il procedimento, che consentiva di creare direttamente alcune resistenze (mediante strati di grafite di spessore opportuno) o alcuni condensatori (costituiti da sottili fogli metallici separati da speciali dielettrici) ha preso oggi un aspetto diverso che è quello dei « circuiti a strato spesso » e dei « circuiti a strato sottile » che vedremo in seguito.

In questi casi si può parlare effettivamente di circuiti stampati, poiché diversi procedimenti creano i componenti che completano il circuito relativo.

La tecnica più corrente invece, come vedremo meglio tra breve, consiste nel realizzare su una basetta isolante i soli collegamenti, mentre tutti i componenti sono esterni a tale basetta, e vengono applicati in fase di montaggio. Per questo motivo le basette ora citate dovrebbero portare il nome di collegamenti stampati. È invalso l'uso di definire circuiti stampati anche quelle basette sulle quali sono presenti i soli collegamenti.

La **figura 67 B** illustra un esempio di circuito. stampato, dal lato in cui sono visibili i collegamenti. In linea di massima, questi ultimi sono riportati soltanto su di un lato della basetta isolante. Tuttavia, con una tecnica più elaborata, nei casi in cui l'effetto capacitivo che si produce tra due collegamenti presenti sulle due facce di una basetta, e separati tra loro da un dielettrico costituito dalla basetta stessa, non abbia importanza, è possibile applicare i collegamenti sui due lati.

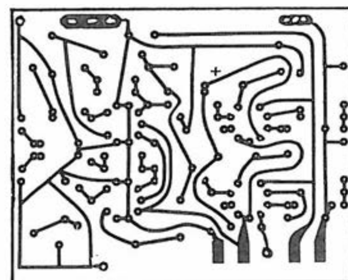
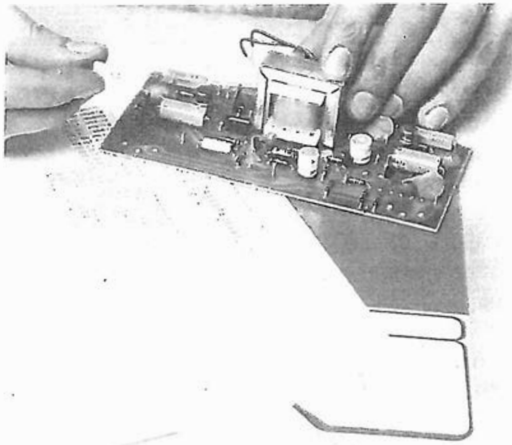


Fig. 67 B - Esempio di circuito stampato: sono visibili i collegamenti nonché i punti di ancoraggio semplici e multipli per più terminali. Si noti che, come è ovvio, nessun collegamento può incrociarsi con un altro a meno che non siano in diretto contatto elettrico.

In linea di massima — dunque — un circuito stampato consta delle connessioni tra i componenti di una intera apparecchiatura, o di una



parte di essa, presenti sotto forma di strisce di rame opportunamente sagomate ed aventi un determinato spessore, su di un supporto isolante che sostiene rigidamente l'intero circuito ed i suoi componenti (condensatori, resistori, induttori, valvole, circuiti integrati, transistori, ecc.). L'applicazione di detti componenti viene effettuata introducendo i loro gambi-terminali negli appositi fori preventivamente praticati nel materiale isolante che costituisce il supporto del circuito, e nelle piste di rame sottostanti.

Per facilitare le eventuali riparazioni, ed i controlli indispensabili durante il collaudo, i componenti vengono applicati dal lato opposto della basetta, ossia sulla superficie sulla quale non sono presenti i collegamenti (ciò, beninteso, nei casi in cui detti collegamenti figurino su un solo lato della basetta), come illustrato in **figura 68 B**, che mostra appunto, nelle sue due sezioni, lo stesso circuito stampato visto dai due lati.

Naturalmente, un dispositivo elettronico non consta soltanto — come ben sappiamo — del circuito e dei suoi componenti: esistono anche i comandi esterni (potenziometri, interruttori, ecc.), i dispositivi di alimentazione (batterie, trasformatori, ecc.) il cui peso è spesso tale da impedirne l'applicazione su di un supporto che non sia metallico. È quindi necessario che un circuito stampato consenta l'allacciamento a collegamenti normali — costituiti cioè da conduttori di diverso spessore, isolati o meno —

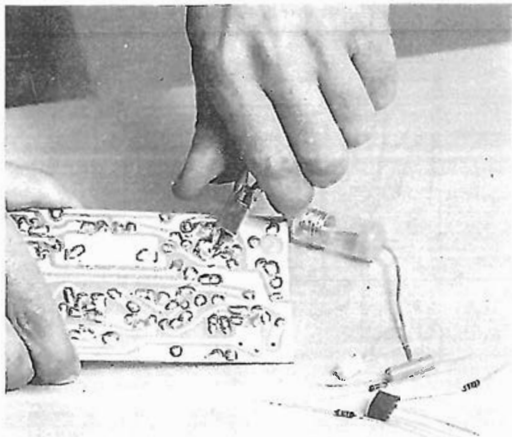


Fig. 68 B - Tutti i componenti sono, di norma, collocati dal lato isolato della basetta; quest'ultima deve essere preventivamente forata nei punti di collegamento e di fissaggio delle parti.

Fig. 68 B. Sul lato opposto della basetta si trovano i collegamenti ricavati sul rame mediante incisione chimica. Ciascun punto di contatto (gambo dei componenti) deve essere saldato al rame; gli spezzoni sporgenti è bene siano troncati.

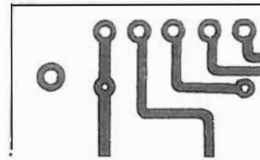


Fig. 69 B - I punti terminali per i collegamenti esterni, così allineati permettono l'impiego di un collegamento a spinotto.

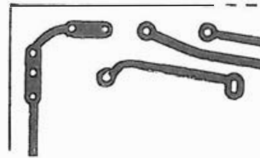


Fig. 70 B - Quando il collegamento esterno è fisso (saldato) il punto terminale può essere previsto in qualsiasi zona del circuito.

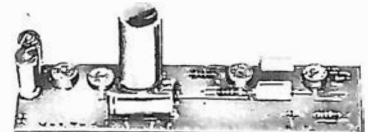
con gli organi esterni e con la massa dell'apparecchiatura. A tale scopo, alcuni dei collegamenti stampati presenti sulla basetta terminano sul bordo di quest'ultima (o in un altro punto) con un allargamento provvisto di un foro di diametro adatto.

Le **figure 69** e **70 B** illustrano alcuni tipi di piste terminali, adatte al fissaggio di componenti e all'ancoraggio di connessioni esterne.

La basetta a circuiti stampati, dopo essere stata completata di tutti i componenti che costituiscono il circuito (**figura 71 B**) viene fissata mediante squadrette o viti al telaio dell'apparecchio, a seconda dei casi, delle dimensioni, del peso, ecc.

Fig. 71 B - Le basette dei circuiti stampati possono essere grandi o piccole. Quasi sempre sono montate, nell'apparecchiatura, su di un supporto o bordo metallico per la necessaria rigidità dell'assieme.





Caratteristiche dei materiali

Affinché un circuito stampato, oltre ai vantaggi economici e di minore ingombro, presenti le medesime caratteristiche di un circuito convenzionale a conduttori separati, deve avere le seguenti prerogative:

1) Rigidità meccanica sufficiente per sopportare il peso dei componenti applicati, senza essere suscettibile di rotture dovute ad urti o a vibrazioni.

2) Adesione perfetta tra le strisce di rame costituenti i collegamenti ed il supporto, tale cioè da impedirne il distacco in seguito a cause accidentali, o a trazione da parte dei componenti.

3) Isolamento elettrico sufficiente (con un buon margine di sicurezza), onde evitare che tra i collegamenti si verifichino scariche elettriche a causa delle differenze di potenziale dovute alle correnti che li percorrono.

4) La sezione dei collegamenti stampati (data dal prodotto tra la larghezza e lo spessore), deve essere tale da consentire il passaggio della corrente circolante, senza apportare perdite dovute alla resistenza ohmica delle connessioni, e senza sviluppare temperature elevate

che provocherebbero inevitabilmente il distacco del metallo dal supporto isolante.

5) Le connessioni devono essere disposte in modo da consentire il minimo percorso, e la minima capacità tra collegamenti paralleli o comunque adiacenti: con ciò ci riferiamo in modo particolare a quei collegamenti che vengono percorsi dal segnale a radiofrequenza.

6) La superficie dei terminali di ogni collegamento deve essere tale da assicurare una buona saldatura. In altre parole, deve essere in grado di accogliere una giusta quantità di stagno, onde garantire la massima robustezza e la minima resistenza di contatto.

7) Le dimensioni delle basette devono essere calcolate in modo da ospitare con sufficiente comodità, senza cioè provocare un eccessivo « affollamento », i componenti del circuito. Per contro, dette dimensioni non devono essere eccessive poiché, diversamente, verrebbe compromesso uno dei principali vantaggi dei circuiti stampati nei confronti di quelli convenzionali, ossia il risparmio di spazio.

8) Infine, i materiali con i quali sono realizzati, ossia il supporto isolante ed i collegamenti in rame ivi esistenti, devono essere in grado di sopportare eventuali variazioni di temperatura, senza incrinarsi o alterarsi col tempo, e devono essere il più possibile anigroscopici.

Ovviamente, per quanto riguarda la parte metallica, ossia i collegamenti stampati, il rame puro è il metallo che maggiormente si presta allo scopo, sia per la sua duttilità e malleabilità, che ne consente la trasformazione in sottili fogli aventi uno spessore costante in tutti i punti, sia per la sua bassa resistenza specifica, sia — infine — per la grande facilità con cui, al momento necessario, viene intaccato da determinati acidi. Questa corrosione a mezzo acidi — come vedremo — è infatti alla base della tecnica di produzione dei circuiti stampati.

Per quanto riguarda invece il supporto isolante, sono state sperimentate varie sostanze, ciascuna delle quali presenta vantaggi e svantaggi: tra le varie qualità attualmente usate dalle fabbriche, esistono materiali costituiti da fogli di cartoncino imbevuti di una sostanza a base di cellulosa, aldeide formica e resine fenoliche, trattenuti da queste medesime sostanze che costituiscono una specie di impasto, e pressati insieme in un certo numero, variabile a seconda dei casi e della rigidità voluta.

Altri materiali sperimentati e adottati in casi particolari sono invece a base di lana di vetro, di ossidi speciali, di silicio e di resine sintetiche. Vi sono anche casi in cui i collegamenti sono ricavati da fogli plastici caratterizzati da alta flessibilità.

I tipi rigidi citati, per le loro caratteristiche intrinseche, consentono una buona resistenza meccanica, e presentano sufficiente flessibilità per la lavorazione cui viene sottoposta la basetta al termine del procedimento di incisione (squadratura, foratura, ecc.).

Uno degli inconvenienti riscontrati consiste però in una certa igroscopicità superficiale, che può compromettere l'isolamento tra i collegamenti. Un altro fattore negativo consiste inoltre nel costo, che è notevolmente maggiore di quello del cartone bachelizzato precedentemente citato.

In ultima analisi, dato il basso costo, la facilità di lavorazione, la scarsa igroscopicità grazie alla qualità delle resine adottate, e l'elevata rigidità meccanica che si abbina ad una opportuna flessibilità, il cartone bachelizzato è di impiego pressochè generale per la produzione dei circuiti stampati. Ovviamente, a seconda dei casi, esso viene usato in diversi spessori ed in diversi gradi di durezza: tali caratteristiche — comunque — dipendono esclusivamente dalle dimensioni e dal peso dei componenti che la basetta finita deve supportare.

Agli effetti della produzione dei supporti destinati a subire l'incisione, i materiali usati per ottenere la perfetta adesione del metallo al supporto isolante sono di diversa natura: in genere, si tratta di composti a base di neoprene, di isocianato, di resine ossidate, la cui efficacia è incrementata da sostanze indurenti.

Un fattore negativo di notevole importanza relativo all'impiego dei circuiti stampati è che, contrariamente a quanto accade con i comuni telai metallici, la basetta isolante non costituisce un mezzo efficace per la dissipazione del calore eventualmente prodotto dai componenti: per questo motivo, l'impiego di tali circuiti con valvole o transistori è limitato ai soli casi in cui la dissipazione di calore richiesta non sia eccessiva. Si rimedia in parte a questa limitazione o distanziando l'organo che è fonte di calore (esempio, un trasformatore) o dotandolo di un suo dissipatore di calore (esempio, con transistori di potenza).

Dimensionamento

Uno degli inconvenienti maggiori presentati dalle basette a circuiti stampati è — come abbiamo visto — la limitazione del peso dei componenti che possono essere installati su di esse. Le caratteristiche dimensionali delle basette sono pertanto limitate dal peso e dal volume delle parti costituenti il circuito.

Ciò nonostante, nelle apparecchiature di una certa mole, è sempre possibile realizzare un circuito stampato sul quale è applicata buona parte dei condensatori, dei resistori, delle valvole o transistori, ecc., mentre i trasformatori, le valvole finali (che sviluppano forti temperature), e tutti gli altri componenti più ingombranti possono essere installati separatamente, e collegati mediante connessioni convenzionali, facenti capo ad appositi terminali presenti sulla basetta.

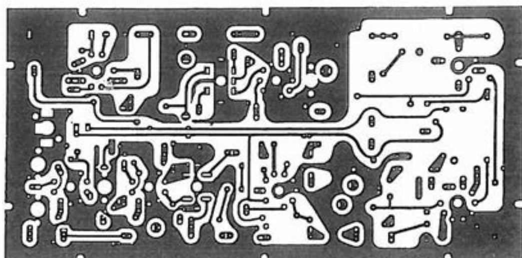


Fig. 72 B - Piastra di base a circuito stampato per apparecchio televisivo. Il rame (in nero) viene conservato in una porzione perimetrale che appoggerà sull'intelaiatura metallica di supporto (chassis); ove possibile è conservato anche in altre zone per una maggiore rigidità della piastra stessa.

La **figura 72 B** illustra, ad esempio, il circuito stampato destinato ad equipaggiare un apparecchio televisivo di vecchio tipo (a valvole). Come si nota, esso, oltre che da circuito elettrico, agisce da supporto nei confronti di 7 valvole, circa cinquanta resistori, altrettanti condensatori, due diodi a cristallo, tre potenziometri e sette bobine. Le dimensioni, che qui appaiono ridotte per ovvie esigenze di spazio, sono in realtà di cm 13,5 × 27,5. In questo caso particolare, la basetta aderisce lungo il bordo ad una finestra appositamente praticata nel telaio metallico. Ciò ne aumenta considerevolmente la rigidità.

Da questo esempio, è facile dedurre che, ove si adottino particolari precauzioni ad evitare torsioni e flessioni della basetta, che potrebbero causare la rottura di qualche collegamento stampato, le dimensioni possono essere abbastanza estese, tali cioè da consentire la realizzazione con questo sistema, di apparecchiature piuttosto complesse.

Nei casi in cui l'apparecchio consti di diversi circuiti, ossia di varie unità funzionali e complementari, si costruisce l'apparecchio con diverse unità a circuiti stampati, recanti i vari componenti, ed installate su di un telaio, che funga da supporto, realizzando su quest'ultimo i collegamenti tra le diverse unità. Si tratta del sistema modulare al quale abbiamo già fatto cenno.

La griglia modulo

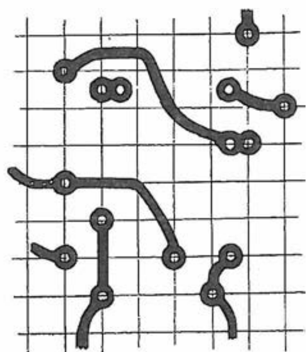


Fig. 73 B - Impiego della «griglia modulo» per determinare, secondo misure standardizzate, la posizione dei terminali relativi all'ancoraggio dei vari componenti elettrici che vengono inseriti nel circuito.

In linea di massima, in fase di progetto di un circuito stampato, occorre predisporre su di un piano i diversi componenti che dovranno essere fissati sulla basetta realizzata, allo scopo di stabilire a priori le dimensioni ideali della basetta stessa, ed il percorso logico dei collegamenti, nonché per evitare gli incroci tra questi ultimi (ovviamente impossibili), e per limitarne opportunamente la lunghezza.

Poiché i componenti principali (resistori, condensatori, circuiti integrati, ecc.) hanno dimensioni standard, stabilite da tempo attraverso accordi internazionali tra le diverse fabbriche, per la razionale esecuzione di un circuito stampato è consigliabile attenersi ad un modulo, denominato appunto « griglia modulo », del tipo illustrato alla **figura 73 B.**

Si tratta, come si nota, di un reticolo nel quale i quadratini componenti hanno tutti un lato di 2,54 mm, pari cioè ad un decimo di pollice.

Una volta stabilita la disposizione dei componenti, non resta che stabilire la posizione dei fori per l'ancoraggio. Detti fori vengono normalmente praticati nel punto di incrocio di due rette della griglia, ossia di una orizzontale e di una verticale.

A volte si ricorre ad una griglia modulo sottomultipla di quella citata, nella quale i quadratini hanno un lato pari a 1,27 mm. La griglia consente di disporre i componenti secondo un ordine logico e — per quanto possibile — simmetrico, col massimo risparmio di spazio, dovuto alla razionale disposizione.

Una volta stabilita la posizione dei fori, si ha la certezza che, adottando i componenti prodotti espressamente per l'impiego sui circuiti stampati, i terminali, piegati ad angolo retto o nel modo più opportuno a seconda dei casi, corrisponderanno ad un multiplo della distanza standard di 2,54 mm. In altre parole, tutti i resistori da 0,25 W, da 0,5 W e da 1 W ecc., come pure i condensatori, ecc., potranno essere installati tra coppie di fori aventi rispettivamente una distanza standard tra loro (**figura 74 B**). Come si vede in quest'ultima figura è sempre possibile, se si presenta la necessità, disporre anche in altro modo i componenti.

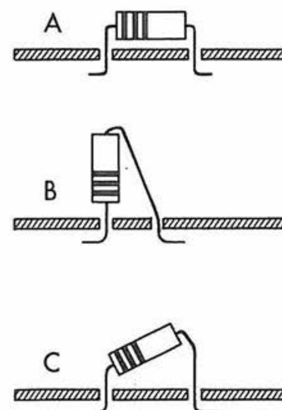


Fig. 74 B - Metodi di fissaggio dei componenti (in questo caso di resistori). In A, posizione orizzontale; in B, verticale, ed in C, inclinata. Il metodo più adatto viene scelto in base a considerazioni di ingombro o di particolare esecuzione del componente. Naturalmente il sistema di normale impiego è quello riportato in A.

I moduli formati da circuiti stampati sono spesso inseriti ad innesto sul telaio di base. A questo scopo si deve pervenire ad un sistema che permetta un facile, ma sicuro innesto ed una facile estrazione. Le **figure 75, 76** e **77 B** si riferiscono a soluzioni diverse per casi del genere.

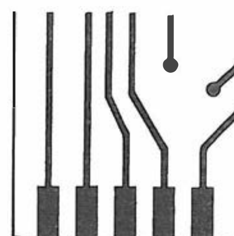


Fig. 75 B - Esempio di terminali stampati a «linguetta», per connessioni esterne a mezzo di contatto contemporaneo a molla di pressione (innesto). È uno dei sistemi adottati per i «moduli».

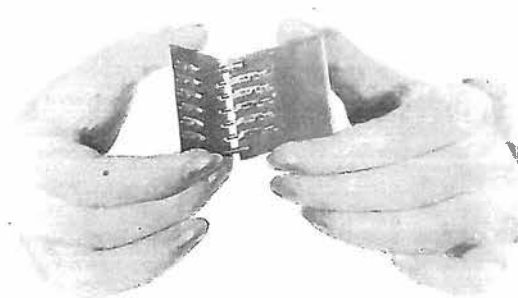


Fig. 76 B - Le basette a circuito stampato sono spesso dotate di connettori per l'innesto su altra base: i tipi di connettore oggi disponibili sono numerosi e prevedono anche abbinamenti ad angolo, come in figura. Sicurezza di contatto e minima resistenza elettrica sono caratteristiche di base per questi accessori.

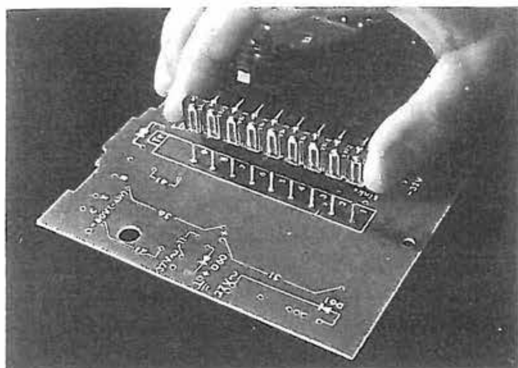


Fig. 77 B - Questo è un altro modello di connettore multiplo. Mentre i primi tipi erano fabbricati tutti per gli impieghi professionali (contatti in oro, ecc.) ed erano quindi costosi, oggi con la tecnica dei moduli generalizzata anche nelle apparecchiature civili sono disponibili ottimi modelli, come quello illustrato, a basso costo.

Saldatura dei componenti

Nel caso della realizzazione di un prototipo, o di poche unità, la saldatura dei vari contatti di un circuito stampato può essere effettuata normalmente con un saldatore convenzionale. È opportuno però che la potenza elettrica del saldatore, e quindi la quantità di calore erogata, sia appena sufficiente per la saldatura. In caso contrario, sebbene i materiali siano stati scelti opportunamente per assicurare la massima adesione tra il metallo (rame) ed il supporto, nonché la massima resistenza alle temperature elevate, è facile bruciare la superficie del supporto stesso, con grave danno del circuito stampato.

Si deve fare in modo di effettuare la saldatura una sola volta, dopo essersi assicurati che nessun altro terminale debba far capo in quel punto. È bene saldare rapidamente, con la punta perfettamente pulita, evitando che lo stagno liquefatto raggiunga la temperatura che ne provoca l'ebollizione.

Nel caso della produzione di serie, le diverse fabbriche che costruiscono apparecchi a circuiti stampati sono da tempo equipaggiate con impianti adatti alla cosiddetta **saldatura ad immersione.**

A tale scopo, esistono delle bacinelle speciali, che prendono il nome di « crogiuoli », nelle quali, a mezzo di resistenze elettriche regolate da un termostato che ne interrompe il funzionamento allorché viene raggiunta una determinata temperatura, lo stagno viene tenuto allo stato liquido.

La basetta premontata, recante tutti i componenti inseriti al loro posto, e con i terminali già tagliati alla lunghezza più adatta, viene tenuta ad una certa altezza sul livello della lega fusa. Mediante un controllo meccanico, è possibile abbassare detta basetta in modo che il



Se sulla piastra di rame si traccia il percorso dei collegamenti con inchiostro-vernice apposito, durante il successivo bagno di incisione viene eliminato tutto il restante rame tranne, appunto, quello che si trova sotto al tracciato. Per l'esecuzione di prototipi sono in vendita piastre pronte, penne ed inchiostri idonei.

circuito stampato giunga, con la superficie inferiore, a contatto della superficie liquida.

Per il noto fenomeno dell'adesione e per « capillarità », lo stagno aderisce alle parti in rame dalle quali sporgono i terminali dei componenti, e viene per così dire risucchiato nei fori della basetta isolante, in modo da formare delle masse di stagno sufficienti.

Il tempo di immersione viene regolato in modo da consentire saldature perfette, senza peraltro bruciare la superficie del supporto. Ovviamente, questa regolazione del tempo è piuttosto critica, e deve essere ritoccata periodicamente, a causa delle eventuali variazioni della temperatura ambientale, e delle variazioni dimensionali, anche minime, della struttura metallica del congegno automatico, che normalmente si verifica a causa dell'uso prolungato.

Una innovazione in questo procedimento consiste nel fermare ad una limitata distanza la basetta dal livello dello stagno liquido: nella massa di quest'ultimo viene, al momento opportuno, provocata un'onda che percorre la vaschetta da una estremità all'altra. La cresta dell'onda di stagno in questione lambisce tutti i punti da saldare e immediatamente dopo, basetta, parti e collegamenti non subiscono più gli effetti dannosi dell'alta temperatura.

Non appena lo stagno si è solidificato la basetta viene tolta dalla macchina per passare al controllo, e viene automaticamente sostituita da un'altra, che subirà il medesimo procedimento.

Non è difficile comprendere quale enorme risparmio di tempo consenta la tecnica della saldatura generale. Essa ha valorizzato l'impiego dei circuiti stampati, permettendo un'ulteriore riduzione dei costi di produzione, dovuta al risparmio di mano d'opera.

Protezione e conservazione

Il circuito stampato finito viene, dopo la saldatura, sottoposto ad un procedimento, mediante il quale resta protetto contro gli agenti atmosferici esterni, quali l'umidità, la polvere, i vapori di sostanze corrosive, ecc. Detto procedimento consiste nell'essiccare perfettamente il supporto ed i suoi componenti, facendolo restare per un certo tempo in presenza di aria calda assolutamente deidratata, dopo di che l'intero circuito viene cosparso con una speciale vernice trasparente, avente spiccate proprietà anigroscopiche. In tal modo, nonostante l'eventuale presenza nell'aria di vapor acqueo o di altre sostanze nocive, il circuito resta protetto.

Ovviamente, la vernice depositata a spruzzo deve essere tale da evaporare rapidamente in presenza di una fonte di calore elevato, quale ad esempio la punta del saldatore elettrico.

Circuiti a strato "spesso" e a strato "sottile"

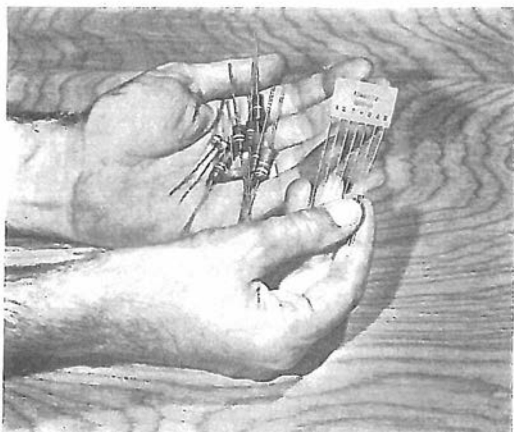


Fig. 78 B - La figura mostra come otto elementi passivi (resistori e condensatori) possano essere sostituiti, nel montaggio, da un unico componente la cui configurazione circuitale può essere scelta a priori. I vantaggi sono diversi: minore ingombro, minore numero di collegamenti e saldature, minori possibilità d'errore.

Il circuito stampato, lo abbiamo visto, si ricava dalla incisione chimica di un sottile foglio di rame saldamente incollato ad una piastra-supporto di materiale isolante. Si è tentato più volte di procedere in modo diverso, concettualmente secondo una linea più economica; infatti, se si deposita sulla piastra isolante solo il rame che costituisce i collegamenti è evidente che non vi è più la necessità di corrodere e dissolvere con l'acido il rame superfluo. Le varie prove eseguite in questo senso non hanno potuto sinora far emergere però alcuna soluzione pratica ed accessibile che potesse sostituirsi al metodo classico.

Tuttavia, l'idea è valida e, attuata nelle dovute contingenze, sta portando la costruzione elettronica verso tecnologie nuove; più che sostituirsi, dunque, al circuito stampato (che presume sempre l'impiego di singoli componenti, detti « discreti ») la soluzione che ricorre al deposito di materiale crea nuove possibilità e presenta suoi particolari pregi.

La condizione di base è, in primo luogo, che il materiale depositato (vernice, pasta, ecc.) possa essere portato ad alta temperatura (cottura) e ciò esclude subito il substrato a base di bachelite del tipico circuito stampato. In secondo luogo, affinché l'operazione sia valida è necessario che non siano depositati solamente i collegamenti (paste con metalli preziosi), ma anche paste atte a creare resistenza e capacità (con successivi depositi) sì da realizzare anche i relativi componenti. La tecnologia allora, per la produzione di adeguate quantità di moduli simili, incomincia ad acquisire caratteristiche di economicità oltre ad altri pregi ai quali accenneremo.

Occorre dire subito che il sistema si differenzia in due grandi categorie che vengono denominate a « strato spesso » ed a « strato sottile »: la definizione di strato spesso è però relativa, in quanto lo strato è « spesso » solo nei confronti di quello dell'altra categoria.

Il substrato è una ceramica d'ossido d'alluminio oppure è vetro o steatite. Il deposito è effettuato con la tecnica della stampa serigrafica ed è seguito da una cottura ad una temperatura che può raggiungere i 1000 °C. Col calore il veicolo che è servito a trasportare la polvere conduttrice (pasta fluida) evapora e nello stesso tempo la polvere sinterizza: ciò per lo strato o film spesso. Col film sottile si ricorre invece alla vaporizzazione sotto vuoto. Se si inseriscono poi sulle piastrine così formate componenti discreti, quali transistori, diodi, induttori, resistori speciali, ecc. si hanno i moduli funzionali denominati « ibridi ».

Per il collegamento esterno si possono avere strisce o fili. Quasi sempre su questi circuiti viene colata in ultimo una resina sintetica che solidificandosi li protegge meccanicamente, climaticamente ed elettricamente. In certi casi sono introdotti anche in una custodia stagna.

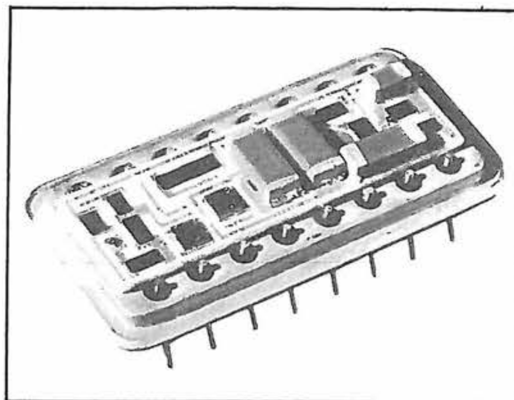
Tutti i settori delle costruzioni elettroniche possono trarre vantaggio da questi circuiti. Col loro impiego si hanno:

— riduzione di volume,

— possibilità di taratura funzionale,

— elevata affidabilità, per il minor numero di connessioni esterne da prevedere nell'apparecchiatura,

— uniformità di caratteristiche in alta frequenza grazie alla geometria perfettamente definita,



Circuito ibrido a strato spesso. I collegamenti sono, o dorati o argentati. I componenti attivi incorporati possono essere sotto forma di piastrina o di microcontenitori. I valori di resistenza possibili vanno da 10 ohm a 10 megaohm e sono tarabili con intervento di un fascio laser.

— riduzioni di costo per il minor numero di elementi esterni, per le minori spese di controllo, per il minor tempo di montaggio, per il minor peso.

Allorché necessita la massima stabilità e precisione e quando si devono ridurre al minimo le perdite nei conduttori (esempio, con le microonde) si preferisce la tecnica del film sottile.

Alla **figura 78 B** si può osservare il confronto tra diversi componenti discreti ed un circuito a strato spesso che li può sostituire. La **figura 79 B** mostra un circuito a strato sottile ed infine la figura **80 B** un altro circuito a strato

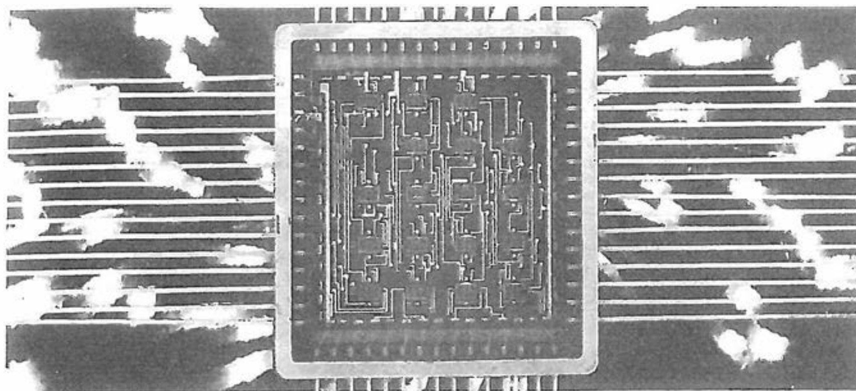


Fig. 79 B - Circuito a film o strato sottile. In questi circuiti i componenti sono realizzati mediante vaporizzazione sotto vuoto dei diversi materiali su di una piastrina ceramica, o per deposizione catodica. I componenti attivi sono montati sotto forma di «chip» a semiconduttore realizzati secondo le diverse tecnologie, sulla piastra ceramica. Questa tecnologia è stata già adottata con successo per reti di resistenza di precisione, circuiti per iperfrequenze e progetti spaziali, amplificatori a larga banda, miscelatori, addizionatori, oscillatori.

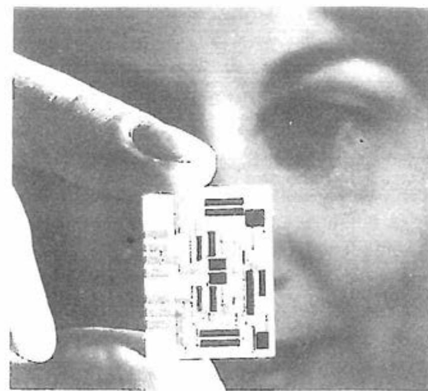


Fig. 80 B - Circuito a strato spesso nel quale si fa uso di paste a metalli preziosi. Molte volte sono integrati da elementi discreti (attivi) quasi sempre creati per questo specifico impiego e pertanto, miniaturizzati. Si ha vantaggioso impiego nei radiotelefoni, sensori, dispositivi di controllo, ecc.

spesso. Con entrambe le tecniche e con elementi passivi si perviene spesso a circuiti particolari detti « ibridi ».

Per concludere, diremo che il passaggio ulteriore a tecniche ancora più evolute può essere identificato nei « circuiti integrati »; essi possono essere considerati, in sintesi, circuiti a film sottile che si formano all'atto stesso della fase realizzativa di transistori e diodi semiconduttori.

Il disegno degli schemi elettrici

Per presentare i diversi apparecchi e per esaminare, progettare e studiare in genere un circuito, non è strettamente indispensabile attuare sempre e subito il circuito stesso; è invece possibile — come certo molti sanno — presentare sotto forma grafica quel circuito o quell'assieme di circuiti che sotto tale aspetto prendono allora il nome di « schema ».

È necessario quindi, innanzi tutto, che di questa elaborazione del concetto di schema, dell'importanza e della grande utilità dello stesso sia ben conscio il lettore perché è appunto lavorando sugli schemi e con gli schemi che egli potrà sviluppare nuovi progetti, ricercare guasti, studiare modifiche, ecc.

Come ogni realizzazione di carattere tecnico, sia essa architettonica, sia decorativa, elettrica o elettronica, un dispositivo deve poter essere disegnato allo scopo di studiarne il funzionamento in fase di progetto, di perfezionarlo in fase di realizzazione e, per ultimo, di ripararlo in caso di guasto.

Poiché i componenti usati in elettronica hanno — come già si è detto — aspetti, forme e dimensioni conformi ai vari impieghi, sarebbe praticamente impossibile disegnare il circuito di un apparecchio radio o di un trasmettitore, o di un televisore, disegnando i vari componenti nella loro forma effettiva, sia perché ne deriverebbe una grave insufficienza a causa della complessità di vari organi, sia perché una simile procedura sarebbe troppo laboriosa.

Per ovviare a tali inconvenienti, sono stati stabiliti dei segni convenzionali, ognuno dei quali ha un significato vero e proprio ed inconfondibile con altri; tali segni sono stati scelti in maniera da rendere nel miglior modo l'idea di ciò che rappresentano, e adottati universalmente da tutti i paesi civili per divulgare la scienza elettronica e le sue innumerevoli applicazioni.

Fra i simboli fondamentali già da ora segnaliamo quello di « condensatore » e di « resistenza », visibili rispettivamente in **figura 81** e **82 B**, per essere essi praticamente sempre presenti in qualsiasi rappresentazione convenzionale di circuito elettrico.

La tecnica del disegno di schemi consta di due sistemi essenziali, ognuno dei quali ha uno scopo ben determinato: gli schemi funzionali o **a blocchi** e i diagrammi schematici o **schemi elettrici.**

I primi raggruppano, con un disegno convenzionale (assai spesso un rettangolo) vari organi costituenti un dispositivo, e, nel caso di apparecchiature complesse formate da sezioni che compiono diverse funzioni, le stesse vengono rappresentate funzionalmente, ossia in modo che si possa seguirne il funzionamento nell'ordine progressivo.

I secondi invece sono lo sviluppo dei primi, riportando tutti i dettagli omessi, ossia specificando il compito ed il valore di ogni singolo componente, purché si tratti di parti che hanno importanza dal punto di vista elettronico e non meccanico.

CAPACITÀ

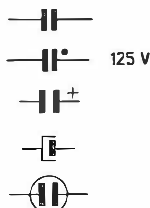


Fig. 81 B - Simboli dei condensatori. Accanto al simbolo assai spesso è indicata la tensione massima di lavoro del tipo e la categoria (con segni poi specificati) e cioè se ceramico, polistirolo, ecc. Gli ultimi tre riportati sono elettrolitici.

RESISTENZA

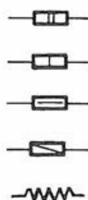


Fig. 82 B - Simboli grafici dei resistori. Recano l'indicazione della categoria di wattaggio con un numero o con trattini; in figura il primo è da 2 watt e gli altri rispettivamente da 1, ½ e ¼ di watt.

In altre parole, negli schemi elettrici vengono raffigurati tutti i componenti che portano correnti, siano esse correnti deboli o forti, e tutti quelli che portano tensioni, mentre vengono omesse quelle parti che compiono funzioni esclusivamente meccaniche.

Negli schemi non si tiene alcun conto della posizione che i vari organi hanno l'uno rispetto all'altro nella realizzazione dell'apparecchio, bensì essi vengono tracciati in modo tale che il tecnico che li osserva, e che sia in grado di interpretarli, possa seguire il percorso dei vari collegamenti, comprendere il funzionamento ed il compito assegnato ai vari organi, constatando tali dati in pratica nel caso che possa osservare contemporaneamente la realizzazione; se ciò non è possibile però, egli — a mezzo dello schema elettrico — può egualmente analizzare il progetto in ogni suo particolare.

Come è facilmente comprensibile, i conduttori vengono rappresentati con tratti continui il cui spessore, nei confronti degli altri, può anche avere un significato. A volte infatti, si usa un tratto di spessore maggiore per raffigurare la massa, ossia il telaio dell'apparecchio, al quale convergono molti collegamenti comuni, negativi o positivi, a seconda dei casi.

Il fatto che un collegamento di uno schema sia diretto verso l'alto o verso il basso, a destra o a sinistra, o comunque in qualsiasi direzione, non ha alcun significato agli effetti pratici, in quanto se una corrente deve passare attraverso un conduttore, essa passa qualunque sia la posizione del conduttore; la direzione dei collegamenti tracciati in uno schema dipende unicamente dalla comodità di stesura e di lettura dello stesso.

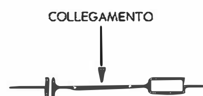
Due collegamenti possono essere in contatto oppure isolati tra loro, il che è facilmente constatabile osservando un apparecchio qualsiasi. Ciononostante, può verificarsi il caso che, durante il disegno dello schema, essi debbano incrociarsi sulla carta.

La **figura 83 B** mostra, oltre ad un esempio di collegamento fra un condensatore ed una resistenza, un esempio di collegamento normale ed uno di massa.

I vari modi per rappresentare conduttori in contatto o isolati sono illustrati in **figura 84 B.** Si osservi che se i due conduttori che si incrociano sul disegno sono in diretto contatto fra di loro, essi possono venir rappresentati disegnandoli semplicemente uno sovrapposto all'altro, nel qual caso, nel medesimo schema, se in altri luoghi vi sono incroci che devono essere mantenuti isolati, essi saranno rappresentati in modo che uno dei due scavalchi l'altro con un piccolo arco, o con una semplice interruzione.

Si noti che talvolta la semplice sovrapposizione di due conduttori può anche indicare un incrocio isolato, nel qual caso però, i punti di contatto dovranno essere indicati con un puntino nel punto esatto dell'incrocio.

La **figura 85 B** mostra la rappresentazione grafica di un comune interruttore, ed è facile notare l'evidenza della possibilità di chiudere o di aprire il circuito spostando il contatto mobile la cui presenza è ovvia in un interruttore vero e proprio.



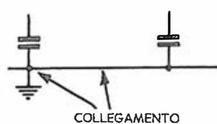


Fig. 83 B - I tratti che negli schemi uniscono tra loro due o più componenti rappresentano i collegamenti.

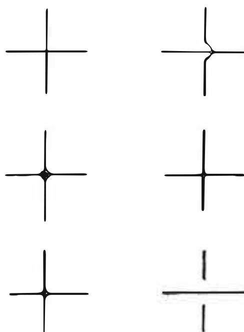


Fig. 84 B - A sinistra tre sistemi per indicare contatto tra collegamenti e, a fianco di ciascuno l'indicazione di isolamento da adottare nello stesso schema.



Fig. 85 B - Rappresentazione grafica simbolica che individua un interruttore.



Fig. 86 B - Esempio grafico di deviatore o commutatore a due posizioni.

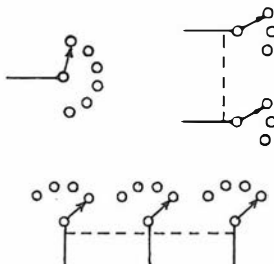


Fig. 87 B - Simboli di commutatori vari. Vengono definiti rispettivamente: ad 1 via e 6 posizioni; 2 vie e 3 posizioni, 3 vie e 4 posizioni. Le linee tratteggiate che uniscono le varie sezioni indicano che esse vengono comandate da un unico perno, ossia che se una di esse subisce una rotazione del rotore, ruotano contemporaneamente i rotori delle altre sezioni con essa solidali.

Analogamente risulterà chiara la rappresentazione di un deviatore, illustrata dalla **figura 86 B.** Si nota infatti che la freccia, la quale indica il contatto mobile, può essere messa in contatto con l'uno o con l'altro dei punti affiancati, a seconda di dove si desideri convogliare la corrente che percorre il conduttore facente capo alla freccia.

Una volta compresa la rappresentazione grafica dell'interruttore e del deviatore, sarà facile passare a quella del commutatore, sia esso semplice o complesso. La **figura 87 B** mostra appunto lo schema di alcuni tipi di commutatori, alcuni dei quali sono a varie sezioni. In questo caso, la linea tratteggiata che le unisce indica che esse vengono comandate da un unico perno, ossia che se una di esse subisce una rotazione del rotore, ruotano contemporaneamente i rotori delle altre sezioni ad essa solidali.

Tutti i componenti che entrano a far parte di un'apparecchiatura elettrica sono rappresentabili schematicamente. Con i tratti di cui si è ora detto si schematizzano i collegamenti tra le parti stesse di modo che è facilmente intuibile come in un disegno completo o schema elettrico si possa avere — rappresentato in maniera inequivocabile e facilmente leggibile per un tecnico — un intero complesso elettrico o elettronico.

Elaboriamo uno schema

Visto come si possa con disegni convenzionali e simbolici rappresentare i componenti, e con tratti che li uniscono i collegamenti (vale a dire le unioni elettriche a mezzo di un conduttore), stimiamo sia utile che il lettore ci segua ora in una prima elaborazione grafica di schemi elementari.

Per dare inoltre all'esame un'ulteriore utilità lo baseremo sull'evoluzione di uno schema di radioricevitore.

Il radioricevitore più semplice che si possa concepire è rappresentato dal raccoglitore di onde elettromagnetiche, dal demodulatore o rivelatore e da un organo riproduttore. In altre parole: antenna — rivelatore a cristallo — cuffia (**figura 88 B**).

Un cosiffatto apparecchio, pur funzionando, e cioè pur dimostrando nella pratica la corrispondenza dei princìpi teorici studiati, presenta notevoli inconvenienti e ragguardevoli limitazioni: esso è perciò soggetto a miglioramenti, in altre parole, ad una più elaborata struttura capace di rimediare ai suoi difetti intrinseci. Per meglio renderci conto di ciò, vediamo anzitutto questi difetti.

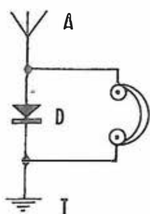


Fig. 88 B - Raccoglitore d'onde, rivelatore e riproduttore formano il più semplice ricevitore realizzabile.

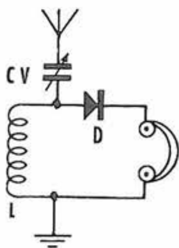


Fig. 89 B - L'aggiunta di induttanza e capacità regolabile eleva il rendimento per una data frequenza.

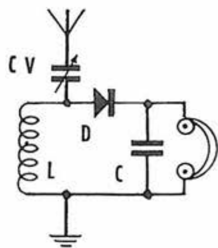


Fig. 90 B - Inserendo «C» si impedisce che la A.F. residua, dopo la rivelazione, si inoltri alla cuffia.

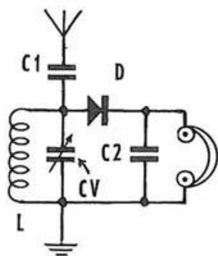


Fig. 91 B - L'accordo sulla frequenza può essere meglio effettuato dal circuito «L-CV», accoppiato all'antenna tramite «C1».

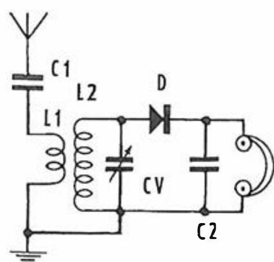


Fig. 92 B - Il ricorso a due circuiti oscillanti tra loro accoppiati (trasformatore di A.F.) aumenta la selettività.

Il rivelatore a cristallo è un dispositivo — come già detto — che non offre in sé alcuna possibilità di amplificazione; da qui la necessità di raccogliere il massimo di segnale a mezzo dell'antenna.

Sappiamo che l'antenna è un organo, o meglio un circuito risonante, su di una data, propria frequenza (che dipende dalle sue caratteristiche elettriche); sappiamo che il massimo rendimento di un circuito oscillante si ottiene per la frequenza di risonanza, e sappiamo infine che le caratteristiche elettriche dell'antenna possono essere variate a mezzo di organi aggiunti (induttanze e condensatori).

Da quanto sopra è facile intuire che, nota la frequenza dell'emittente che si desidera ricevere, se — come praticamente avviene — non vi è corrispondenza con la frequenza di risonanza propria dell'antenna, occorre modificare la frequenza di risonanza di quest'ultima fino a farla coincidere con quella che si vuol ricevere. Si può vedere in tale operazione una prima «sintonizzazione» o «accordo», approssimato.

In pratica per l'accordo di un'antenna si ricorre ad una induttanza e ad un condensatore contemporaneamente ed allora lo schema del ricevitore di figura 88 B può trasformarsi in quello riprodotto in **figura 89 B**. Il condensatore, essendo variabile nel suo valore, permette di scegliere entro una certa gamma la frequenza: naturalmente potrebbe essere resa variabile anche l'induttanza, o solo l'induttanza, ma nei pochi casi in cui un accordo del genere viene attuato si dimostra, a volte, più pratico affidare tale compito al condensatore.

Se, realizzando un ricevitore come dallo schema di figura 88 B, noi, in posizione molto prossima ad una emittente e con la coincidenza di altre condizioni favorevoli, possiamo pervenire all'ascolto, passando a quello di figura 89 B noteremo, in particolare per un dato valore del condensatore (che dipende dalla frequenza che si vuole sintonizzare) un aumento notevole dell'intensità sonora; inoltre verrà aumentato anche il raggio entro il quale l'ascolto può aver luogo, vale a dire che in località in cui con il primo ricevitore non è dato di effettuare alcun ascolto, con il secondo tale ascolto può invece verificarsi. Confermiamo che, in pratica un accordo del genere è raramente attuato: il valore del condensatore variabile necessario dovrebbe essere troppo elevato (costruzione onerosa e poco pratica) per la ricezione delle onde medie e lunghe.

Il lettore ricorderà che nella esposizione schematica del principio illustrante la demodulazione si è detto che all'uscita del diodo (qui rappresentato dal cristallo) è opportuno eliminare l'Alta Frequenza residua.

Per fare questo ne favoriremo la deviazione a mezzo di un condensatore che rappresenterà una buona via di conduzione (C in **figura 90 B**) e ciò ne impedirà l'inoltro al riproduttore: avremo attuato con un filtraggio, un ulteriore miglioramento perché la presenza dell'Alta Frequenza nel riproduttore, nel quale non è necessaria, può essere causa di inconvenienti, se non gravi, tuttavia a volte fastidiosi.

Rimangono ciò nonostante altri difetti ad un apparecchio costruito secondo lo schema di figura 90 B; il principale consiste nella sua attitudine a ricevere non solo la stazione che si desidera ma anche eventuali altre stazioni presenti con lunghezza d'onda diversa. Si dice in questo caso che l'apparecchio non è «selettivo», vale a dire che non riesce a scegliere, a selezionare, la stazione voluta, da altre. Tutto ciò, nonostante l'accordo d'antenna.

Questo fenomeno viene giustificato dal fatto che, se per il punto di risonanza si verifica in effetti il rendimento più elevato del circuito oscillante, tuttavia per frequenze prossime a tale punto il circuito non rappresenta un ostacolo di modo che, se anche in misura minore, l'energia di altre emittenti perviene al cristallo e viene anch'essa rivelata traducendosi in suono.

Un accordo o sintonizzazione presentante questo difetto è conseguenza di una risonanza che viene detta «piatta» in contrapposto ad una risonanza su di una sola e ben determinata frequenza (o quasi) che viene detta «stretta».

Lo schema di figura 90 B può essere variato allora in quello di **figura 91 B.**

Qui si ha anzitutto un inoltro di tutta la radiofrequenza dall'antenna all'apparecchio vero e proprio, ottenuto con l'impiego di un condensatore fisso di valore relativamente alto, C 1, tra i due elementi. La sintonizzazione stretta, quella atta a selezionare le stazioni, viene effettuata da CV che si trova ai capi della bobina L.

Nel complesso — in particolare per determinate emittenti e situazioni — questo ricevitore rappresenta un passo avanti nei rispetti dello schema precedente perché risulta più selettivo. Tuttavia, se si è in presenza di due stazioni che irradiano una notevole energia, la separazione sarà ancora problematica.

Se un circuito accordato effettua comunque una selezione di frequenza — anche se spesso insufficiente, come abbiamo testè visto — due circuiti del genere posti uno dopo l'altro potranno consentire una più acuta selezione. In altre parole, aumenteranno la selettività.

Possiamo applicare questa idea al nostro ricevitore di figura 91 B e perverremo allo schema di **figura 92 B** che risulta più selettivo del precedente.

Esaminiamo un po' più attentamente questo schema: C1-L1 è uno dei circuiti oscillanti, anche se a banda larga, ed L2-CV è l'altro. Se ci richiamiamo a quanto abbiamo esposto a proposito dell'induttanza, comprenderemo facilmente come, avvicinando L1 a L2, potremo dar luogo — grazie al flusso rispettivo — ad un concatenamento o, per meglio dire, ad un accoppiamento mediante il quale risulta possibile tra-

sferire (sia pure con un po' di perdite) l'energia presente in L1 (proveniente dall'antenna) ad L2. Avremo realizzato un trasformatore di Alta Frequenza; in esso, in questo caso, L1 viene detto «primario» ed L2 «secondario».

Ancora un piccolo passo e perverremo al circuito di **figura 93 B.**

Come del resto è evidente, detto schema è sostanzialmente identico a quello di figura 92 B, per lo meno per quanto concerne la presenza e la disposizione dei componenti circuitali, differendone unicamente per le caratteristiche costruttive del trasformatore di Alta Frequenza, che nell'ultimo caso esaminato è dotato di un nucleo di un particolare materiale ferromagnetico, la ferrite, sintetizzato dalla linea tratteggiata fra L1 ed L2, ed ha l'avvolgimento secondario (L2) che presenta un certo numero di prese distribuite lungo l'avvolgimento stesso. Le prese consentono di attuare il miglior trasferimento di energia ad Alta Frequenza dal circuito sintonizzato al diodo rivelatore, realizzando quella importante funzione che prende il nome di «adattamento di impedenza».

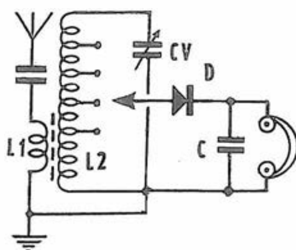


Fig. 93 B - La presenza di un certo numero di prese sul secondario del trasformatore di Alta Frequenza consente il massimo trasferimento di energia A.F. sul diodo rivelatore.

La presa di carico

Affinché la cuffia possa generare il massimo di suono è necessario evidentemente che al cristallo rivelatore giunga il massimo segnale possibile. Occorre tenere presente che il cristallo (e tutto ciò che lo segue) rappresenta una certa resistenza — meglio detta «carico» — che in pratica viene ad essere posta ai capi del circuito che precede il cristallo stesso (vale a dire L2-CV, il noto «circuito oscillante»). È infatti da detto circuito, accordato, che il segnale viene tratto.

Ovviamente il «carico» è sempre necessario per poter sviluppare ai suoi capi il segnale, ma più è basso, più esso abbassa l'entità del segnale altrimenti presente. In altre parole, se tra gli estremi del circuito oscillante (ai capi di L2 nel nostro caso) possiamo leggere in ricezione una data tensione (una lettura del genere è possibile solo con particolari strumenti) avendo come carico il solo strumento di misura (ossia supponendo assente il cristallo), allorché si connette quest'ultimo e la cuffia l'entità del segnale diminuisce.

Occorre fare in modo che detta diminuzione sia la minima possibile, ciò che si ottiene (ammesso che il carico presenti la più alta resistenza possibile) con un accoppiamento opportuno che tenga conto sia delle caratteristiche del circuito oscillante che di quelle del carico, adattandole tra loro.

In pratica, per fare ciò con il nostro apparecchio è sufficiente spostare il punto di applicazione del carico lungo la bobina L2 (da qui la necessità delle prese) fino a trovare il punto in cui si ha un passaggio della massima intensità di corrente attraverso il circuito di carico.

Poiché quest'ultima condizione significa massimo volume sonoro, la posizione della presa da scegliere può essere facilmente determinata durante l'ascolto di una stazione, spostando il collegamento.

Riteniamo opportuno riferire alcune semplici considerazioni sui circuiti risonanti di ingresso.

Il circuito risonante d'antenna

Un circuito risonante elettrico è composto — sappiamo — da induttanza e da capacità tra loro connesse. Questi due elementi possono però essere uniti nel nostro caso, uno a seguito dell'altro così come si vede alle figure 89 B e 90 B (CV-L), 91 B e 92 B (C1-L e C1-L1 rispettivamente), oppure uno ai capi dell'altro, come appare a figura 91 B per L-CV ed a figura 92 B per L2-CV.

Nel primo caso si ha un circuito oscillante aperto, nel secondo un circuito oscillante chiuso.

Se pur vengono detti aperti, i circuiti risonanti CV-L degli schemi di figura 89 B e 90 B e gli altri come tali citati, è opportuno precisare che per essi ci si riferisce agli organi aggiunti e non all'assieme reale; infatti, sapendo che l'antenna presenta un'induttanza propria ed una sua capacità verso terra, possiamo raffigurare tale induttanza e tale capacità come in **figura 94 B.** Vedremo allora come, anche nel caso del circuito cosiddetto aperto, si abbia in realtà un circuito risonante chiuso.

Maggiore selettività

Può accadere — e assai spesso accade — che anche il circuito di figura 93 B non presenti una sufficiente selettività: si può pensare allora di ricorrere ad un terzo circuito risonante, accoppiato, ma in realtà poche volte ciò è possibile.

Infatti, poiché — come sappiamo — non abbiamo amplificazione, e poiché per ogni trasformatore ha luogo una perdita, l'energia inizialmente disponibile verrebbe ad essere eccessivamente dispersa. Si preferisce, nel caso di cui sopra, ricorrere anzitutto ad un altro accorgimento per accrescere la selettività: sintonizzare in maniera «stretta» tanto il primario che il secondario del trasformatore di Alta Frequenza L1-L2.

Lo schema diventa allora quello di **figura 95 B** ove, con l'aggiunta di CV1, al primario (rispetto allo schema di figura 93 B) si attua una selettività maggiore.

Un ultimo accorgimento atto ad influenzare favorevolmente la selettività consiste nell'agire sul grado di accoppiamento (maggiore o minore distanza) tra L1 ed L2.

Quest'ultima induttanza riceve, tramite il flusso, l'energia a radiofrequenza da L1: è ovvio quindi che più accoppiata — più vicina — sarà la bobina L1 maggiore sarà il trasferimento.

Viceversa, aumentando la distanza, il segnale in L2 risulterà più debole: se l'allontanamento

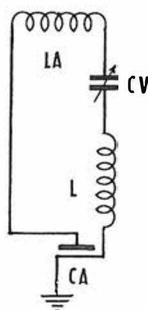


Fig. 94 B - Raffigurando con «LA» e con «CA» induttanza e capacità proprie dell'antenna si constata che anche il circuito «aperto» (l'antenna) è in realtà chiuso.

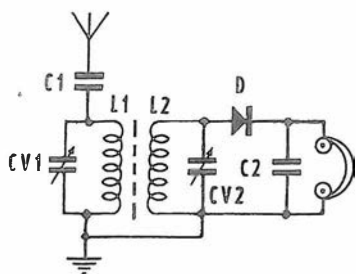


Fig. 95 B - Se il circuito primario del trasformatore di Alta Frequenza viene anch'esso accordato con un condensatore variabile (CV1) si ottengono un rendimento ed una selettività molto più alti per la frequenza di emissione accordata.

delle due bobine viene attuato di proposito sino al punto in cui i segnali di interferenza non riescono più ad influenzare L2 mentre il segnale desiderato (e per il quale i circuiti sono accordati) può essere ancora utilizzato data la sua maggiore entità, si otterrà la discriminazione desiderata e si potrà dire di avere aumentata la selettività. Naturalmente tutto ciò si traduce anche in una diminuzione di rendimento.

Il rivelatore

Abbiamo sin qui parlato di ricevitori « a cristallo ». Dobbiamo precisare che, in realtà oggi il cristallo così come esso era inteso una volta non viene più impiegato.

Il cristallo (cristallo di galena, ossia di solfuro di piombo) è stato uno dei primi rettificatori o « detector » delle onde elettromagnetiche. Abbiamo già visto alla lezione precedente (figura 40) come tale dispositivo era costruito ed abbiamo detto che al suo posto si impiegano oggi i diodi. Pertanto, è bene intendere come rivelatore, negli schemi esaminati, un diodo a semiconduttore.

Quest'ultimo dispositivo, specialmente nelle sue prime realizzazioni, assomigliava molto al « detector » a galena (una punta di contatto poggiante su di una piastrina); successivamente sono stati elaborati altri tipi, come vedremo.

È interessante rilevare che da queste tecniche deriva un altro componente: il transistore. Esso può compiere un'azione di grandissima importanza, può « amplificare »; del diodo però conserva in parte la fisionomia (e le caratteristiche) perché, come si può già vedere alla pagina seguente è « un diodo con un elemento in più ». Il primo, reale ricevitore che il lettore potrà costruire per una confortevole ricezione (sarà dettagliatamente descritto nel corso della prossima lezione) impiegherà due transistori, uno appunto, nella funzione di rivelatore e l'altro di amplificatore del segnale rivelato.

Lo scopo di queste prime analisi circuitali è — come abbiamo premesso — quello di avvicinare il lettore alle realizzazioni pratiche affinché con le parti, i circuiti ecc. familiarizzi e acquisti la necessaria confidenza. È indispensabile anche che egli si renda conto, nello stesso tempo, dello svolgersi dei fenomeni elettrici e della funzione che i singoli componenti compiono ai fini del risultato finale. Per il citato motivo quando, assai presto ci occuperemo della reale costruzione di un primo ricevitore, sarà con tale concetto che lo schema verrà discusso.

Vedremo più avanti, nello studio teorico, che si possono amplificare i segnali sia prima che essi si inoltrino all'apparecchio così come esso è stato visto sinora, così come dopo che dall'attuale apparecchio essi escono: nel primo caso si tratterà di amplificazione in Alta Frequenza (prima del rivelatore) e nel secondo caso di amplificazione in Bassa Frequenza, dopo il rivelatore, organo che, come abbiamo visto, ha appunto il compito di «estrarre» quest'ultima dalla prima.

Ci troviamo nella necessità di applicare una tecnica che teoricamente non abbiamo ancora sviluppato. Ciò non toglie che il lettore possa avvicinarsi ai nuovi organi e li impieghi presto addirittura, traendone conoscenze che gli gioveranno molto quando perverrà allo studio completo di quel dato componente.

Amplificare

Un dispositivo che permette l'amplificazione dei segnali siano essi di Alta che di Bassa Frequenza esiste da tempo, ed è la **valvola termoionica.**

Sarà nostra cura spiegare il principio di funzionamento della valvola e tutte le sue numerose possibilità, in uno spazio adeguato all'importanza di quest'organo.

Ancor più faremo però nei riguardi di un altro dispositivo che in questi ultimi anni è venuto a sostituirsi alla valvola: il **transistore.**

Premesso ciò, non rinunceremo alla descrizione di stadi amplificatori, anche se l'organo sul quale essi si basano deve essere ancora illustrato in tutto il suo complesso di leggi e di princìpi: ci basterà richiamare l'attenzione del lettore sulle più correnti norme di impiego, di modo che l'uso sia razionale e senza errori.

Abbiamo scelto tra la valvola ed il transistore, quest'ultimo perché oramai le valvole sono di uso sempre meno frequente.

Non possiamo però far impiegare i transistori senza avere, per lo meno in modo breve, esposto un primo cenno sul loro principio di funzionamento.

Il transistore

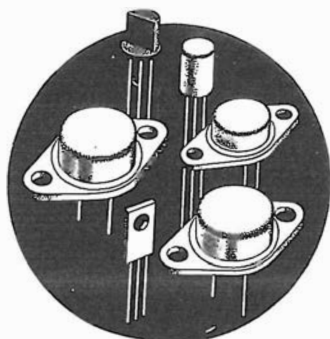
Sappiamo bene ciò che è un conduttore di elettricità e ci sono noti i diversi metalli che eccellono in questa loro caratteristica: argento,

rame, alluminio, ecc. Sappiamo pure che vi sono i materiali detti isolanti, che non conducono elettricità (mica, vetro, ceramica, ecc.).

Occorre ora precisare che esiste anche una terza categoria di materiali, che non possono essere definiti buoni conduttori, ma tantomeno isolanti: essi sono i «semi-conduttori».

Quando si adotta un conduttore, la corrente scorre allorché viene applicata una tensione: quest'ultima, causa un movimento di «elettroni» lungo il conduttore.

Se si usa invece un semi-conduttore, la sola applicazione della tensione può non essere sufficiente a provocare il flusso della corrente: in tal caso, l'intervento di altre condizioni fisiche, ad esempio luce, calore, campo elettrico, o una



Qui sopra, aspetto di transistori nella loro custodia che può essere di materiale plastico o metallica.

impurità del materiale, potranno consentire il passaggio di corrente.

I più comuni tra i semi-conduttori di detto tipo sono il germanio, il silicio ed il selenio: i primi due sono quelli generalmente prescelti per formare i transistori.

In opposizione al classico flusso elettronico, si può avere conduzione anche a mezzo di «buchi» o «cavità».

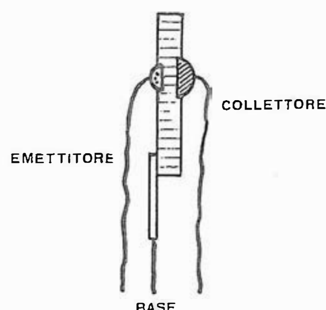
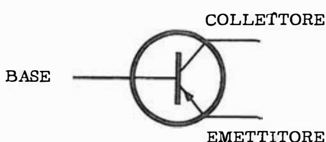
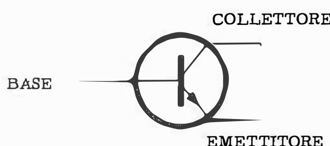


Fig. 97 B - Struttura interna, indicativa, di un transistore. Lo strato interno è definito BASE ed è sempre di materiale semiconduttore di tipo diverso da quello dei due strati esterni definiti EMETTITORE e COLLETTORE.

Il simbolo schematico del transistore differisce nel senso di puntamento della freccia (emettitore) a seconda che si tratti di tipo «p-n-p» (verso l'interno)



o «n-p-n» (verso l'esterno).



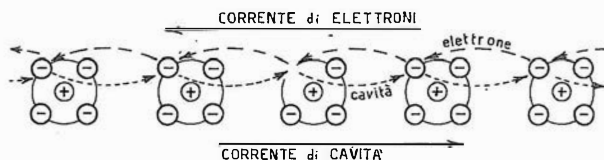


Fig. 96 B - Se un elettrone viene a mancare ad una molecola, si crea in essa una «cavità». La molecola mancante dell'elettrone può però prenderne uno da una molecola vicina e neutra, nella quale viene a crearsi così la nuova cavità: si verifica in tal modo un trasferimento — attraverso la sostanza — di cavità, che produce un flusso di corrente pari ad un movimento di particelle a carica positiva. L'andamento di questo flusso è contrario a quello della corrente di elettroni.

Una «cavità» si forma allorché un gruppo di atomi (molecola) perde un elettrone. La molecola mancante di un elettrone, può prenderne uno da un'altra, ad essa prossima ed elettricamente neutra, lasciando così la seconda molecola con una lacuna o cavità, e con una carica positiva.

A questo modo, una cavità può trasferirsi attraverso la sostanza, passando da molecola a molecola e producendo un flusso di corrente che agisce proprio come se fosse un movimento di particelle a carica positiva.

La **figura 96 B** illustra molto semplicemente il citato flusso di cavità.

Sebbene il flusso di corrente in una particolare sostanza possa consistere in un movimento sia di cavità che di elettroni, se il flusso prevalente è quello delle cavità, il materiale viene detto «portatore positivo» o semi-conduttore di **tipo p.**

Se invece il flusso prevalente è costituito da movimenti di elettroni, il materiale è definito «portatore negativo» o semi-conduttore di **tipo n.**

Un transistore è formato dalla combinazione dei due citati materiali.

Il transistore (nel suo tipo più noto, detto «a giunzione») presenta una struttura a strati («sandwich») di due diversi tipi di semi-conduttori, vale a dire di tipi «p» od «n», o viceversa.

In uno strato interno si ha un materiale diverso da quello dei due strati esterni (uno per parte). Così, se lo strato interno è di materiale di tipo «p», l'unità viene definita un transistore «n-p-n»: se lo strato interno è di materiale di tipo «n», ne deriva un transistore «p-n-p».

Vi sono tre connessioni: una per ciascun strato esterno, ed una all'interno.

La **figura 97 B** riporta disegni esplicativi e simboli riferiti a quanto abbiamo sin qui detto in proposito. Parleremo ben più a lungo di tutto ciò; per ora ci basti sapere che il transistore è un dispositivo capace di amplificare.

Poiché, ripetiamo, un amplificatore è tale in quanto un piccolo segnale in esso entrante viene raccolto all'uscita più volte ingrandito (ciò si ottiene comandando col segnale entrante un grande ammontare di potenza fornita da una sorgente esterna), anche il nostro transistore in quanto capace di detta funzione può essere definito tale.

Accenneremo infine, che mentre nella valvola termoionica l'azione amplificatrice ha luogo con il controllo — a mezzo di una piccola tensione — di una corrente relativamente ampia, nel transistore il controllo della corrente ampia di uscita è effettuato da una piccola corrente di entrata.

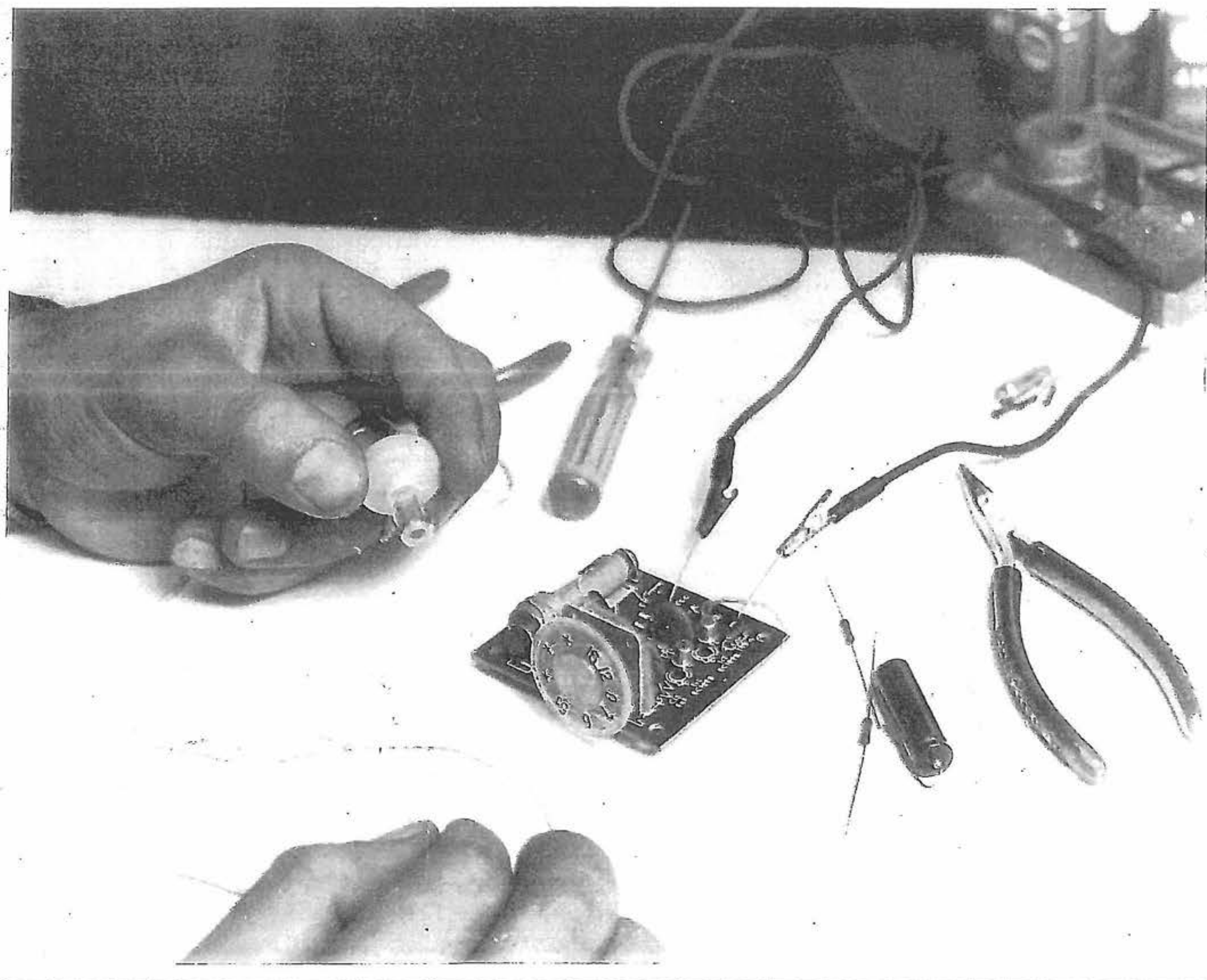
Per questo fatto si può dire che «la valvola è un amplificatore a comando di tensione» ed «il transistore un dispositivo amplificatore a comando di corrente».

L'ELETTRONICA

IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

L'elettricità

3



RADIO - TRANSISTORI - CIRCUITI INTEGRATI - Hi-Fi - ANTENNE - TRASMISSIONE - APPLICAZIONI VARIE

Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - —70% - Lire 750

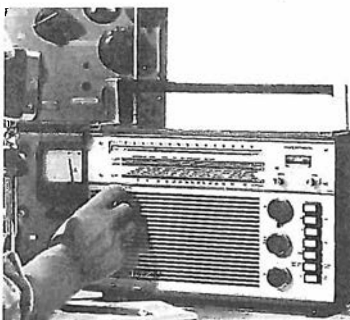
Il ricevitore radio

Da quanto abbiamo appreso sin qui in merito al ricevitore radio emerge che il valore di alcuni componenti (ad esempio, l'antenna per i suoi dati elettrici, i condensatori di accordo, le induttanze) è strettamente legato alla frequenza che si vuol ricevere; in altre parole, alla lunghezza d'onda delle emittenti. Queste ultime, lo sappiamo, sono raggruppate e identificabili in «gamme» per cui un ricevitore agli effetti pratici deve poter essere sintonizzato su più gamme.

Tuttavia, se consideriamo la zona di frequenza utile alle radiocomunicazioni, rileviamo che essa va da un minimo di 30 kHz ad un massimo di 300 GHz. Non esiste un radioricevitore che possa coprire una così ampia zona di frequenze: gli organi validi per le frequenze più basse non sono più validi nelle loro caratteristiche a frequenze molto più alte. Inoltre, è da ricordare che certi servizi sono affidati a determinate gamme ed altri servizi ad altre gamme, per cui è più logico che il ricevitore nasca in funzione del servizio che deve espletare. Così, si avranno ricevitori per la radiodiffusione, altri per le comunicazioni telegrafiche e telefoniche, altri per ponti radio, ricezione dei satelliti, ecc.

Ci occuperemo dei diversi tipi e, naturalmente, inizieremo dai meno critici e meno complessi che sono quelli destinati alla ricezione dei programmi di radiodiffusione circolare. Anche tra questi però è bene distinguere quelli che si limitano alle onde medie (a volte, con le onde lunghe) da quelli che incorporano le onde corte e, per la ricezione dei programmi a modulazione di frequenza (FM), le onde cortissime (VHF). Ecco qualche cenno iniziale, generico, su alcune caratteristiche che possono classificare il ricevitore come soddisfacente o meno nel suo impiego.







Sensibilità

La sensibilità è la misura della possibilità da parte di un ricevitore di captare segnali deboli, e di ricavarne segnali percepibili.

Qualsiasi apparecchio ricevente intercetta o capta varie irradiazioni, provenienti dai molti trasmettitori presenti ovunque, e funzionanti entro le diverse gamme delle radiofrequenze con varie potenze di irradiazione, per cui i segnali captati sono, oltre che di diversa frequenza, anche di varia intensità. Un ricevitore appartiene ad una classe tanto migliore — agli effetti della sensibilità — quanto più deboli sono i segnali che esso può ricevere dando sempre, nel contempo, una resa apprezzabile. Stante la diversa intensità con la quale i varii segnali pervengono all'antenna è opportuno però che l'apparecchio sia dotato di un dispositivo capace di ridurre l'amplificazione (e pertanto, la sensibilità) nei casi di segnale rilevante: tale accorgimento è presente in quasi tutti i ricevitori ed è noto come « controllo automatico di guadagno » (AGC).

Selettività

Per selettività (vi abbiamo già fatto cenno) si intende la possibilità da parte di un ricevitore di captare un dato segnale e di trasformarlo in energia percepibile ai nostri sensi, escludendo tutti gli altri segnali captati contemporaneamente, e che in quel momento non interessano.

Dal punto di vista del ricevitore, le irradiazioni ad Alta Frequenza ricevute sono un intricato complesso di segnali a varie frequenze ed a varie intensità: un ricevitore con qualità selettive elevate deve essere in grado di scegliere tra i tanti un solo segnale, ossia una sola frequenza portante, e di «respingere» tutte le altre, perfino quelle di valore molto prossimo a quello della frequenza che si desidera ricevere.

Fedeltà

Mentre la sensibilità e la selettività sono costituite — come si è detto — dalla possibilità da parte del ricevitore di intercettare segnali sia pure deboli, e di ricavarne energia percepibile, scegliendo una sola emittente e scartando tutte le altre ricevute contemporaneamente, per fedeltà si intende — a selezione dell'emissione effettuata — la capacità da parte del ricevitore stesso di riprodurre segnali il più eguali possibili a quelli irradiati mediante la radiofrequenza.

Un ricevitore costruito per scopi ricreativi, ossia per ricevere programmi vari di musica, prosa, notiziari, ecc. (radiodiffusione) deve necessariamente avere un grado di fedeltà discretamente elevato. Esso, in altre parole, deve riprodurre fedelmente il suono e gli aspetti generali sui quali si basa la trasmissione, vale a dire, tanto le note musicali di una orchestra, quanto la voce di un annunciatore, di un attore, ecc.

Le esigenze di fedeltà per comunicazioni di traffico commerciale tipo telefonico non sono invece molto critiche, tuttavia, la riproduzione deve essere sempre abbastanza chiara a chè risulti intellegibile senza sforzo da parte dell'ascoltatore.

Riassumendo, la riproduzione deve essere priva di distorsioni: la voce deve essere comprensibile, e priva di interferenze o di vibrazioni estranee alla trasmissione stessa.

Caratteristiche fisiche

I componenti di un ricevitore sono quasi tutti più piccoli e compatti di quelli di un trasmettitore; ciò è dovuto principalmente al fatto che le esigenze di alimentazione sono inferiori. Di conseguenza, in un ricevitore i componenti che costituiscono la sezione alimentatrice sono contenuti nell'apparecchio stesso. Le dimensioni ef-

fettive, il peso ed il costo, variano in maniera considerevole a seconda della qualità e delle esigenze alle quali l'apparecchio deve rispondere.

Gli apparecchi destinati alla ricezione della radiodiffusione si discostano da altri detti «professionali». Nei primi si soddisfano esigenze commerciali che permettono tuttavia, di realizzare buoni apparecchi pur evitando i costosi accorgimenti necessari per la realizzazione di apparecchiature professionali. Nei secondi predominano esigenze di sensibilità e selettività nonché corredo di strumentazione e possibilità di demodulazione di tutti i tipi di modulazione correntemente impiegati.

Vi sono poi apparecchi adatti all'installazione su mezzi mobili, come ad esempio autovetture, che sono montati in modo da poter sopportare urti di una certa entità e condizioni ambientali severe, e sono costruiti secondo criteri che potremmo anche definire semiprofessionali.

Analisi del funzionamento

Lo schema che già conosciamo, di un ricevitore semplice, ma purtuttavia completo, ci aiuterà ora nell'analisi degli elementi e delle funzioni. Osserviamo pertanto la **figura 1 C.**

I punti principali da considerare nell'analisi sono i seguenti: quali sono i componenti essenziali? - Qual'è il compito di ognuno di essi? - Quali modifiche subiscono le onde radio passando attraverso il ricevitore?

L'illustrazione mostra il collegamento convenzionale tra i vari elementi. Nella figura, in basso, vi è la rappresentazione grafica delle onde e delle loro variazioni, man mano che le stesse attraversano il ricevitore.

Quando un'onda radio viene intercettata dall'antenna, nell'antenna viene indotta una tensione a radiofrequenza, che conseguentemente appare al primario di T_1.

Il flusso di corrente nel primario di T_1 (L1) induce una corrente della medesima frequenza nel secondario (L2). Il trasformatore di antenna (detto anche trasformatore d'aereo) quasi sempre è avvolto su supporto con nucleo di apposito materiale magnetico per radiofrequenza: il rapporto di trasformazione è in salita e ciò permette un lieve aumento di ampiezza del segnale ricevuto.

Il secondario di T_1 (L2) fa parte di un circuito sintonizzato costituito da L_2 e da C_1.

La corrente che circola in tale circuito sintonizzato raggiunge il valore massimo quando la frequenza applicata corrisponde a quella di risonanza del circuito stesso. Inoltre, si sviluppa anche la massima tensione reattiva ai capi di ogni componente.

Allo scopo di ottenere la massima potenza di uscita dalla cuffia, è necessario applicare al rettificatore, ed al circuito di C_2 e della cuffia, la massima tensione. Ciò si traduce in un massimo di corrente attraverso la cuffia stessa, e, poiché essa è un dispositivo per corrente, si avrà la massima resa acustica.

La polarità della tensione presente tra i terminali di L_2 varia col variare della tensione del segnale in arrivo. Le onde radio sono, in quanto tali, «alternate» e cioè con un picco positivo ed uno negativo che si alternano — si invertono — nel tempo.

Quando si ha il più alto valore positivo, la corrente scorre nel circuito nel senso indicato dalle frecce a tratto intero.

Quando si ha il picco negativo, il cristallo non permette il passaggio della corrente, e il condensatore si scarica nel senso indicato dalle frecce tratteggiate.

In tal modo, la forma d'onda viene rettificata, ed il segnale si trasforma in corrente continua, pulsante.

È opportuno notare che le pulsazioni così ottenute portano ancora l'impronta della modulazione anche dopo il filtraggio, e che quest'ultimo è tale da non influire sulla loro presenza e intelleggibilità.

Il condensatore C_2 fa parte del filtro, ed è di piccola capacità: generalmente dell'ordine di 250 pF. Esso filtra la componente a radiofrequenza della corrente continua pulsante: mentre si carica durante il semiperiodo in cui il cristallo conduce, si scarica in parte durante il semiperiodo opposto, quando cioè il cristallo non conduce. Nella sua carica e scarica, esso assorbe quasi tutte le fluttuazioni degli impulsi a radiofrequenza, e segue l'andamento dell'inviluppo di modulazione, come è illustrato in basso nella figura.

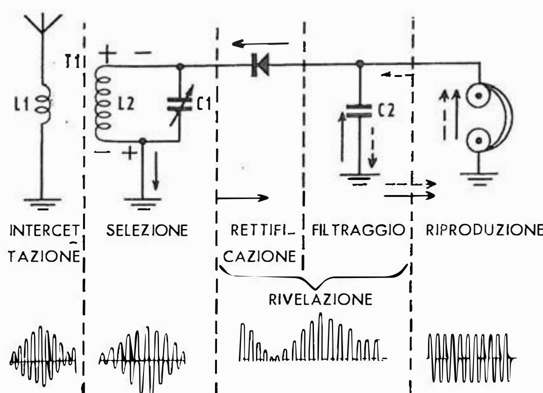


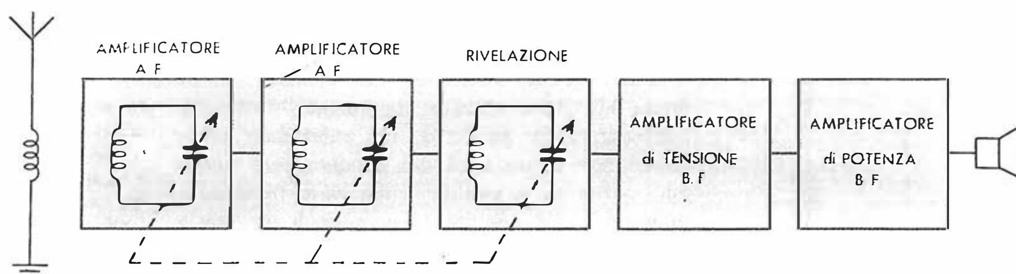
Fig. 1 C - Suddivisione del circuito di un ricevitore semplice con indicazione della funzione dei diversi settori, percorso della corrente e forma d'onda dei segnali. Le frecce tratteggiate indicano il percorso della corrente quando il cristallo non conduce.

Limitazioni

Il tipo di radioricevitore fin qui descritto anche se vi siamo pervenuti con successivi miglioramenti apportati allo schema iniziale, di principio, presenta ancora notevoli limitazioni.

Anzitutto, vi è un solo circuito sintonizzato atto a migliorare la selettività dell'antenna. Il leggero rapporto in salita del trasformatore d'aereo aumenta di ben poco la sensibilità. Ciò

Fig. 2 C - Un ricevitore per consentire una ricezione confortevole di più stazioni in altoparlante deve avere più stadi. Con circuiti sintonizzati migliorerà la selettività, con amplificatori A. F. la sensibilità, con amplificatori B. F. la potenza. Per comodità di accordo i diversi condensatori variabili sono costruiti a monocomando (linee tratteggiate).



limita l'efficienza di tale ricevitore alla sola ricezione di forti segnali provenienti da stazioni emittenti locali o comunque molto vicine. Per gli altri segnali, di intensità minore, la corrente proveniente dal rivelatore non ha un'intensità sufficiente per creare dei campi magnetici intorno agli avvolgimenti della cuffia, atti a produrre le vibrazioni acustiche della membrana.

Un ricevitore di più utile impiego necessita perciò di più dei componenti indispensabili. Esso deve comprendere circuiti e stadi capaci di migliorare il funzionamento sia dal punto di vista della selettività che da quello della sensibilità. Per migliorare la prima occorre un maggior numero di circuiti sintonizzati: per migliorare la seconda occorrono degli stadi di amplificazione a radiofrequenza.

Esso necessita inoltre di stadi di amplificazione ad audiofrequenza onde aumentare la potenza di uscita in modo da permettere l'uso di un altoparlante, in luogo della cuffia, per riprodurre i suoni.

Un esempio di questo tipo di ricevitore è illustrato nello schema funzionale della **figura 2 C**; in essa è schematizzato, per sommi capi, un ricevitore detto a «stadi accordati».

Ricevitori a più stadi

Il ricevitore elementare sinora esaminato può essere classificato come ricevitore ad un solo stadio, in quanto né l'antenna, né la cuffia (che rispettivamente precedono e seguono il rivelatore) costituiscono uno stadio propriamente detto. Il ricevitore a «stadi accordati» è invece un ricevitore a più stadi.

Come si vede nello schema a blocchi della figura 2 C, lo stadio rivelatore dell'apparecchio è l'equivalente dello stadio singolo del ricevitore semplice.

Il ricevitore a «stadi accordati», infine, è un ricevitore che può essere definito completo in quanto è provvisto di stadi amplificatori a radiofrequenza, di uno stadio d'amplificazione di tensione ad audiofrequenza, e di uno stadio di amplificazione, sempre dell'audiofrequenza, di potenza onde poter azionare un altoparlante.

Le sue prestazioni sono notevolmente superiori a quelle del ricevitore monostadio; la differenza essenziale consiste nell'impiego di dispositivi di amplificazione («transistori» o «valvole»). Col loro aiuto viene esteso il numero delle funzioni del ricevitore.

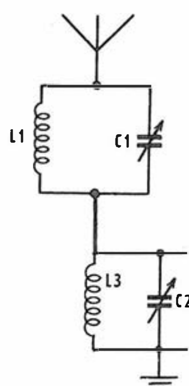
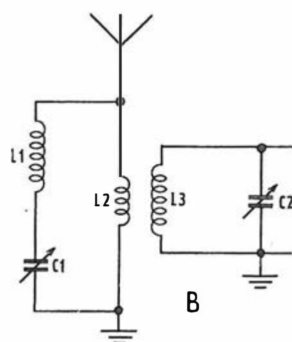


Fig. 3 C - Circuito trappola in parallelo, posto in serie al circuito di accordo: migliora la selettività. Se L1/C1 viene posto in risonanza con la frequenza indesiderata, il segnale di questa non perviene ad L3/C2.



Circuito trappola in serie, posto in parallelo al primario d'antenna: serve allo stesso scopo dell'altro, favorendo il passaggio via L1/C1 del segnale interferente.

In ordine progressivo, il segnale compie in esso i seguenti passaggi: intercettazione, selezione, amplificazione a radiofrequenza, rivelazione, amplificazione ad audiofrequenza, ed infine, riproduzione.

L'amplificazione, sia ad Alta che a Bassa Frequenza, costituisce l'enorme vantaggio conseguito con l'uso dei transistori o delle valvole.

Circuiti d'antenna

A volte, unitamente ai trasformatori per radiofrequenza si usano dei «circuiti trappola».

Questi ultimi sono dispositivi (filtri) inseriti per eliminare i segnali indesiderati di una emittente vicina o comunque molto potente, segnali che potrebbero impedire la ricezione di quelli che si desidera ricevere, provenienti da stazioni lontani o più deboli. Come è illustrato nella **figura 3 C**, detti circuiti trappola, possono essere di due tipi; il loro impiego, in effetti, aumenta notevolmente la selettività.

Nella sezione **A** della figura, si può notare che L_1 e C_1 costituiscono un circuito risonante e sintonizzabile, che, come tale, oppone la massima «impedenza» (vedremo poi che l'impedenza può essere paragonata ad una resistenza) alla frequenza sulla quale è sintonizzato, ossia la frequenza del segnale indesiderato. Così, esso respinge tale segnale.

La corrente che scorre verso L_3 — e di conseguenza la tensione che si sviluppa ai capi del circuito sintonizzato del ricevitore (L_3 - C_2) — può essere presente allora per tutte le frequenze ad eccezione di quella respinta; L_3 - C_2 può perciò scegliere le frequenze desiderate.

Nella sezione **B**, L_1 e C_1 formano un altro tipo di circuito risonante. Esso presenta la minima impedenza alla frequenza sulla quale è sintonizzato, e tale sintonizzazione viene fatta corrispondere a quella del segnale non desiderato. Detto circuito risonante convoglia verso terra il segnale scartato, ma, contemporaneamente presenta un'alta impedenza nei confronti delle altre frequenze. Le correnti corrispondenti a queste ultime passano quindi sempre attraverso L_2, ed il circuito accordato costituito da L_3 - C_2 può scegliere una tra di esse.

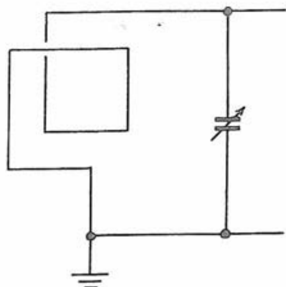


Fig. 4 C - Una particolare esecuzione di antenna è quella cosiddetta « a telaio ». Essa è, in sostanza, l'induttanza di accordo sviluppata costruttivamente si da assumere la funzione di organo captatore.

Molti ricevitori sono basati sull'impiego di una antenna che si può definire «a telaio», che è come quella illustrata schematicamente in **figura 4 C**. Detto «telaio» costituisce un circuito sintonizzato in quanto la sua induttanza, combinata con la capacità del condensatore variabile, permette la sintonia sulle varie frequenze. In altre parole, induttanza e antenna diventano un organo unico. Si ricorre spesso, per questo impiego, a bobine come quelle illustrate in **figura 5 C**, che adottano un nucleo di apposito materiale ferromagnetico per Alta Frequenza. Ricordiamo che con l'impiego di tali tipi di antenna si verifica uno spiccato effetto direttivo nei confronti dell'orientamento dell'antenna stessa.

Evoluzione del ricevitore

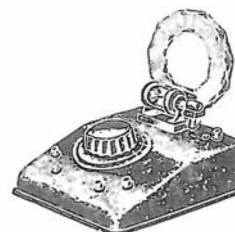
Dato per basilare il fatto che solo grazie a dispositivi di amplificazione si è potuto fare del ricevitore radio un mezzo di impiego realmente pratico e quindi di grandissima diffusione, è evidente che i risultati e le caratteristiche degli apparecchi sono stati sempre legati allo sviluppo degli organi che consentivano detta amplificazione dei segnali.

Cosi, il ricevitore è diventato gradualmente più efficiente, mano a mano che le valvole (prima invenzione in campo) progredivano nella loro tecnologia. Si sono avute prima quelle alimentate unicamente da batterie, poi quelle alimentabili con la rete a corrente alternata, poi quelle multiple (anche a più funzioni), in seguito quelle ad amplificazione molto alta (pentodi) ed infine quelle differenziate negli usi per alta frequenza o bassa frequenza.

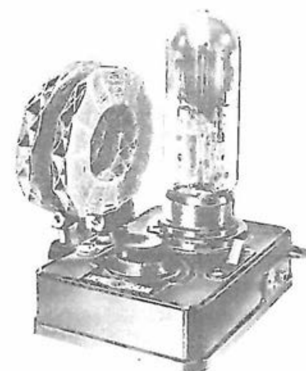
Un contributo notevole è stato dato dall'invenzione di un sistema particolare di amplificazione capace di accrescere per le sue caratteristiche, in modo agevole e senza perdite, la selettività, sempre più necessaria con l'aumentare delle stazioni emittenti. Ci riferiamo al circuito detto « supereterodina » che, ovviamente esamineremo a fondo nella lezione dedicata ai ricevitori. Esso è quello che ancor oggi è di universale impiego.

Doti di ricezione particolarmente confortevole (eliminazione di disturbi e ampia gamma di riproduzione) si raggiunsero coll'adozione di un sistema di modulazione diverso da quello usato agli inizi. Si constatò che il collegamento migliorava sotto i citati punti se anziché far variare l'intensità (ampiezza) dell'onda portante, se ne faceva variare (come conseguenza del segnale modulante) la frequenza. Per ragioni che vedremo, il sistema è stato attuato in gamma di frequenza portante molto alta (VHF): si tratta della F.M. o « modulazione di frequenza » che tutti hanno inteso nominare.

I transistori infine sostituirono le valvole. In questo caso più che l'efficienza è stata accresciuta la praticità dell'apparecchio che è diventato più compatto, più leggero, di minor consumo. Oggi i circuiti integrati, come vedremo, apportano al ricevitore radio tutte le loro preziose caratteristiche e, in realtà ci si avvia ad uno sconvolgimento di quegli schemi che sono stati per tanti anni abituali.



Per diverso tempo, ai primordi della radio, si sono costruiti ricevitori a « galena » come questo. Un componente caratteristico dell'epoca era la bobina a « nido d'ape » visibile in figura.



I primi ricevitori usufruenti delle valvole ripetevano la struttura degli apparecchi a cristallo. Si fece ricorso anche a valvole multiple (più valvole nello stesso bulbo) come nell'apparecchio qui riprodotto.

I ricevitori attuali per radiodiffusione, nelle esecuzioni più evolute incorporano un'amplificazione di potenza e di alta fedeltà e prevedono l'impiego di altoparlanti in casse acustiche. Ricevono le trasmissioni a modulazione d'ampiezza e quelle a modulazione di frequenza, anche stereofoniche. Sono dotati di perfezionamenti vari quali indicazione elettronica d'accordo, ricerca automatica, accordo presintonizzato a pulsanti, ecc.

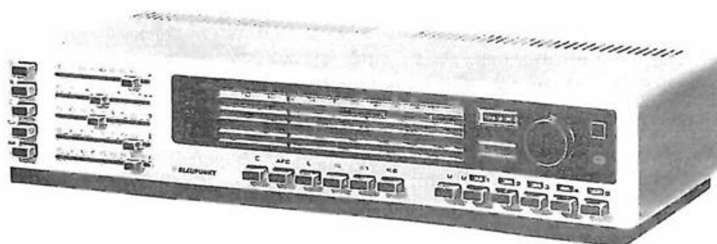
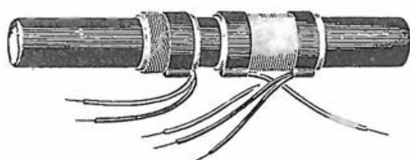


Fig. 5 C - Inserendo nel flusso dell'induttanza che fa parte del circuito sintonizzato un apposito materiale (ferrite) qui a forma di bastoncino, si aumenta notevolmente il rendimento, tanto da poter usare il tutto come antenna collocandolo direttamente nel ricevitore.



Nozioni fondamentali di elettricità

Abbiamo sin qui esaminato — se pur nelle linee generali, tuttavia in modo sufficiente per quanto era l'intento delle nostre premesse — il fenomeno delle oscillazioni sonore ed elettromagnetiche, nonché l'applicazione pratica di queste ultime. È noto che fu appunto tale applicazione o sfruttamento, a rendere possibili le telecomunicazioni, e cioè quelle comunicazioni a distanza che costituiscono lo scopo primo, essenziale, della radiotecnica.

Noto il fenomeno delle oscillazioni, è necessario volgersi ora all'altro elemento che sta alla base di tutta la materia che studieremo: **l'elettricità.**

È invero assai difficile incontrare oggi qualcuno che non faccia uso dell'elettricità o non conosca apparecchi elettrici e apparecchiature elettroniche; molti di quegli apparecchi elettrici che qualche decennio fa erano ritenuti oggetti di lusso, sono ormai considerati indispensabili alla vita normale.

La luce elettrica, il telefono, la radio, la televisione, il frigorifero, la stufa elettrica e l'automobile sono cose oggi universalmente accettate come logiche e naturali, e tutti noi usiamo un interruttore della luce senza considerare minimamente la complessa e vastissima rete elettrica della quale esso fa parte, o ciò che succede quando — per un nostro così semplice intervento — si produce la luce stessa.

Analogamente, quando si accende un apparecchio radio, un televisore o altro, finché l'apparecchio funziona correttamente, il risultato viene considerato cosa naturale, senza la minima preoccupazione nei confronti dei fenomeni complessi che si verificano.

Antecedentemente alla prima guerra mondiale, l'elettricità era ancora, si può dire, nella sua infanzia. In seguito, particolarmente per ciò che concerne il ramo che a noi più interessa — l'elettronica — si ebbe, in coincidenza della seconda guerra mondiale, uno sviluppo rapidissimo, evidente conseguenza delle esigenze belliche; tale sviluppo prosegue con immutato ritmo e oggi, con risultati sorprendenti, l'elettricità governa i missili e i satelliti, pilota le navi, controlla impianti industriali, esegue incredibili calcoli e penetra sempre più in tutte le manifestazioni della vita quotidiana.

Con così numerose innovazioni si è resa per tutti necessaria, oltre che una revisione delle nozioni tecniche e delle norme costruttive di più vecchia data, una divulgazione ed un aumento delle cognizioni utili per il mantenimento, il funzionamento e la riparazione degli apparecchi elettrici, nozioni che, ripetiamo, sono fondamentali per lo studio susseguente e completo dell'elettronica.



Tra gli scopi di questa lezione vi è pertanto quello di esporre una base dei principi fondamentali relativi all'elettricità; consentire al lettore ancora privo di tali cognizioni di acquisirle per comprendere poi i concetti di funzionamento delle apparecchiature e rendersi conto di ciò che accade nei circuiti elettrici che incontrerà nella pratica.

Indipendentemente dal fatto che il suo lavoro si debba poi svolgere nel campo della riparazione, in quello di progetto o in quello del controllo, il tecnico deve avere, è intuitivo, la massima familiarità con la teoria che sta all'origine di tutto il funzionamento.

Elettricità

La parola «elettricità» deriva dalla parola greca «electron» che significa ambra gialla, e gli antichi Greci la usarono per indicare le strane forze di attrazione e di repulsione che si verificano attorno ad un pezzo di ambra che sia stato precedentemente strofinato con un panno.

Essi ignoravano la causa di tali forze.

Nel 1733 il francese Du Fay osservò che, se un pezzo di vetro viene strofinato con una pelliccia di gatto, entrambi questi oggetti si «elettrizzano», ma che il vetro attrae, in tale stato, oggetti che invece sono repulsi dalla pelliccia di gatto e viceversa. Da tale osservazione Du Fay concluse giustamente che «vi sono due generi di elettricità esattamente opposti tra loro».

Successivamente B. Franklin introdusse i termini **positivo** (+) e **negativo** (—) per distinguere i due differenti generi di elettricità. Egli definì elettrizzato «positivamente» un corpo che presenta lo stesso tipo di carica che possiede un pezzo di vetro dopo che è stato strofinato con un panno di seta, e «negativamente» quello che presenta lo stesso tipo di carica di una bacchetta di gomma dopo essere stata strofinata con una pelliccia di gatto. Franklin definì inoltre elettricamente «neutri» tutti i corpi che non presentano alcuna carica.

Ulteriori studi nel campo della materia portarono poi a definizioni di maggiore rigore scientifico che vedremo più avanti.

La domanda «cos'è elettricità?» ha preoccupato per molti anni gli scienziati del mondo e sebbene ancora oggi non sia stato possibile trovare una risposta del tutto esauriente, attraverso lo studio di ciò che essa provoca è stato però possibile evolvere teorie che si sono dimostrate logiche ed efficaci; oltre a ciò, le leggi secondo le quali essa agisce sono svi-

luppate, divulgate e comprese sempre più universalmente, tanto che al giorno d'oggi qualsiasi cosa può essere considerata e spiegata come prodotto diretto o indiretto di fenomeni elettrici.

Le molecole

Gli oggetti che formano il mondo che ci circonda sono costituiti dalla cosiddetta **materia** (vedi **figura 6 C**), la quale fisicamente è la comune sostanza di generale e quotidiana esperienza, ed il cui concetto può essere sintetizzato nel modo che ora esporremo.

La materia, nelle sue manifestazioni comuni, è formata in ultima analisi da «particelle».

Consideriamo, ad esempio, un cristallo del comune sale da tavola; se esso venisse diviso in parti molto piccole diverse volte, si otterrebbero in ultimo delle particelle talmente piccole che non potrebbero essere divise ulteriormente, pur rimanendo particelle di sale: tali unità prendono il nome di **molecole.**

Oggi si sa che il sale è composto di due tipi di materia e precisamente: cloro e sodio; la molecola del sale è quindi la quantità più piccola, in forma fisica, di un tale assieme (o combinazione chimica) formato dai due citati elementi costituenti. «La molecola è la particella che viene considerata alla base della maggior parte delle reazioni chimiche».

La cottura del pane, l'esplosione della dinamite, le variazioni che costituiscono la conversione del cibo in un componente del sangue, non sono che alcuni dei fenomeni mediante i quali le molecole vengono formate e scisse.

Gli atomi

Dallo studio della chimica appare evidente però che la molecola che ora abbiamo vista è ben lungi dall'essere l'ultima parte in cui la materia può essere scomposta. La molecola di sale citata, ad esempio, può essere scomposta nei due elementi radicalmente differenti già detti; il sodio ed il cloro; tali particelle che costituiscono le molecole possono essere isolate e studiate separatamente. Esse sono dette **atomi.**

L'atomo è la particella più piccola costituente quel tipo di materiale che vien detto **elemento.** Nel caso citato gli elementi sono appunto il sodio ed il cloro.

L'elemento mantiene le sue caratteristiche anche se diviso in atomi.

Fino ad oggi sono stati individuati più di cento elementi, i quali possono essere elencati in una tabella in ordine progressivo di peso, e raggruppati in famiglie aventi proprietà simili. Detta tabella viene chiamata «tavola periodica degli elementi».

L'idea che tutta la materia sia composta di atomi risale ai Greci — oltre 2000 anni fa — e molti secoli passarono prima che lo studio della materia provasse che l'idea basilare della struttura atomica era esatta.

I fisici esplorarono infine anche la costituzione dell'atomo e scoprirono diverse ulteriori suddivisioni dello stesso.

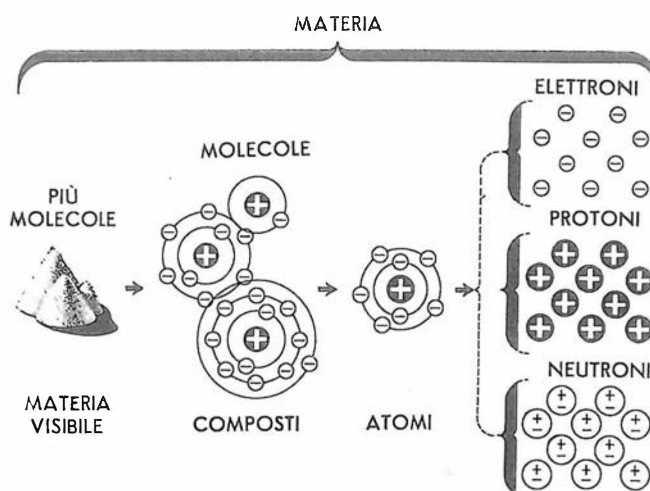
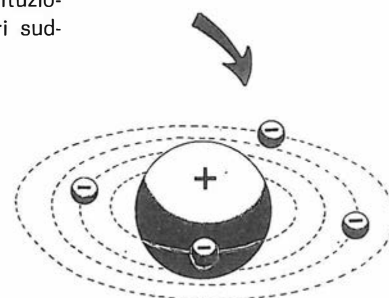


Fig. 6 C - La « materia » che ci circonda è costituita da « molecole »; queste — a loro volta — possono essere scisse in « elementi » puri, formati da « atomi ». Nell'atomo vi è il « nucleo » che ha « protoni » e « neutroni » nonché « elettroni »: questi ultimi ruotano attorno ad esso.

Struttura dell'atomo

L'anima dell'atomo si chiama **nucleo.** In esso è concentrata la maggior parte della massa dell'atomo stesso (massa atomica): il nucleo può essere paragonato al sole del sistema planetario, intorno al quale ruotano i pianeti.

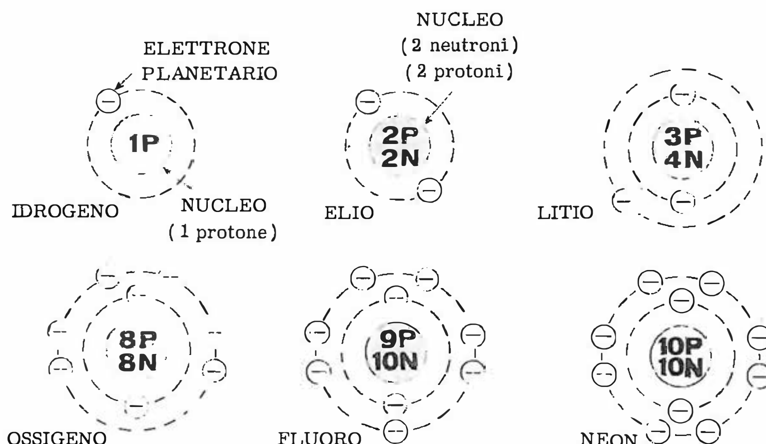


Il nucleo contiene **protoni** (particelle con cariche elettriche positive), e **neutroni**, elettricamente neutri.

La maggior parte del peso di un atomo è nei protoni e nei neutroni che costituiscono il nucleo; intorno ad esso ruotano una o più particelle più piccole, con cariche elettriche negative dette **elettroni.**

Normalmente, in ogni atomo vi è un protone per ogni elettrone, di modo che la carica positiva totale del nucleo è bilanciata, ossia neutralizzata, dalla carica totale negativa degli elet-

Fig. 7 C - Il numero di protoni caratterizza l'elemento. Struttura atomica degli elementi: idrogeno, elio, litio che hanno rispettivamente 1 protone, 2 protoni e 2 neutroni, 3 protoni e 4 neutroni. L'atomo degli elementi ossigeno, fluoro e neon, presenta rispettivamente 8 protoni ed 8 neutroni, 9 protoni e 10 neutroni, 10 protoni e 10 neutroni. Attorno ruotano 8, 9 e 10 elettroni.



troni che lo circondano, per cui **l'atomo** è **elettricamente neutro.**

Gli elettroni non cadono e non penetrano nel nucleo sebbene ne siano fortemente attratti. Il loro stesso movimento rotatorio evita la caduta — a causa della loro forza centrifuga — così come accade per i pianeti nei confronti del sole.

Il numero di protoni — che generalmente corrisponde al numero degli elettroni — determina il genere dell'elemento, come si vede dalla **figura 7 C** che mostra, in un semplice disegno, diversi atomi di elementi diversi, basandosi sul fatto che gli elettroni descrivono delle orbite intorno al nucleo, come i pianeti.

Ad esempio, l'Idrogeno ha un nucleo consistente in un protone, intorno al quale ruota un solo elettrone; l'atomo di Elio ha un nucleo contenente due protoni e due neutroni, e due elettroni che ruotano intorno al nucleo (**figura 8 C**).

Alla fine dell'elenco degli elementi, considerati in ordine di peso atomico, troviamo il Mendelevio (non indicato nella figura) il cui atomo è costituito da 101 protoni e 101 elettroni.

La tavola periodica degli elementi di cui si è detto è un elenco ordinato degli elementi stessi in «numero atomico» progressivo (in ordine «quantitativo di elettroni» ruotanti intorno al nucleo), ed anche in ordine di «peso atomico» (corrispondente al «numero di protoni e di neutroni» del nucleo).

I vari elementi ed i rispettivi atomi hanno differenti pesi l'uno rispetto all'altro, e quello che maggiormente si avvicina all'unità è l'Idrogeno, il cui peso atomico è pari a 1,008 rispetto a quello dell'Ossigeno che è 16 (8+8). L'Elio ha un peso atomico approssimativo di 4 (2+2), il Litio di 7 (3+4), il Fluoro di 19 (9+10), ed il Neon di 20 (10+10), come si vede nella già citata figura 7 C.

Gli elettroni delle orbite esterne di alcuni elementi possono essere facilmente separati dai nuclei positivi dei rispettivi atomi, e possono essere costretti a muoversi nei metalli, nel vuoto, o in tubi contenenti dei gas, ed in genere tali elettroni hanno caratteristiche molto importanti.

Il peso di un elettrone è molto piccolo in confronto a quello di un protone o di un neutrone (circa 1:1845 del peso del protone dell'atomo più leggero, ossia di Idrogeno). Il peso di un elettrone ammonta a 9×10^{-28} grammi, e la carica elettrica negativa a $1{,}6 \times 10^{-19}$ «coulomb». (Vedremo tra breve il significato di questa unità di misura della carica elettrica). Per questa sua combinazione l'elettrone è una particella particolarmente attiva, con diverse possibilità di pratica utilizzazione.

L'atomo non può essere visto — date le sue ridottissime dimensioni — neppure con gli strumenti più perfezionati. Tuttavia, per rendere un'idea delle relazioni che intercorrono, agli effetti delle dimensioni e della struttura, tra

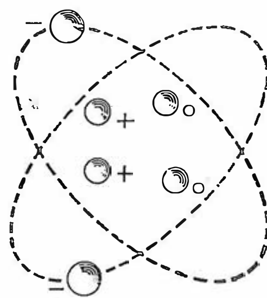


Fig. 8 C - Per una più esatta idea della struttura atomica è raffigurato l'atomo dell'elio, col nucleo contenente 2 protoni (+) e 2 neutroni (0) attorno ai quali ruotano 2 elettroni (—).

Fig. 9 C - Rappresentazione ipotetica di un frammento di alluminio, osservato con diversi ingrandimenti. In realtà, solo le immagini di A (ad occhio nudo), di B e C (ingrandimento con microscopio), possono essere osservate. Le altre sono solo frutto di deduzioni logiche. La figura rende un'idea abbastanza significativa della struttura dell'atomo, e di quella del nucleo di ciascun atomo.

gli atomi e la materia, abbiamo rappresentato alla **figura 9 C** un frammento di alluminio, con vari ingrandimenti. Facciamo però rilevare che i primi due ingrandimenti sono effettivamente ciò che si osserva al microscopio, mentre tutti quelli che seguono sono ipotetici, e rappresentano ciò che si vedrebbe se esistesse uno strumento adeguato.

Nella sezione **A** della figura, l'ingrandimento è pari all'unità, il che equivale all'osservazione ad occhio nudo di un pezzo di alluminio. Per l'esattezza, si tratta di pezzo di fusione recante delle sigle.

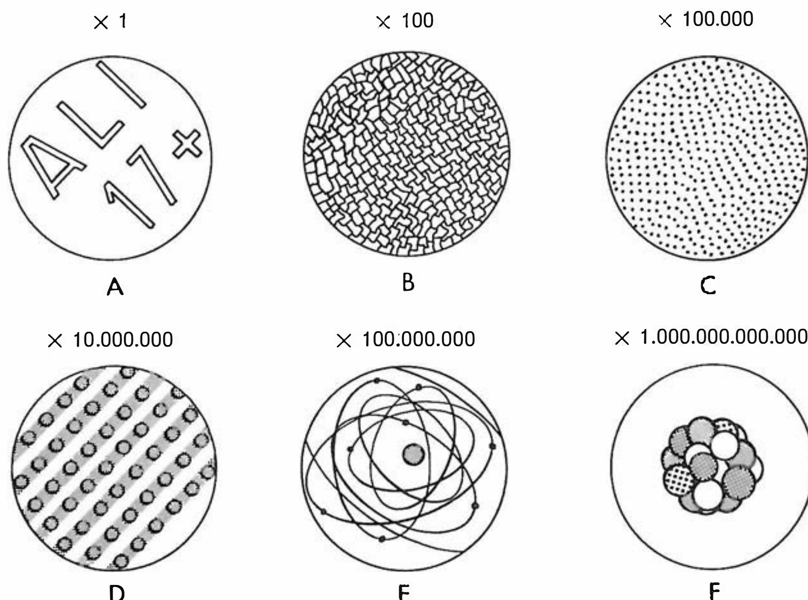
Nella sezione **B** abbiamo un punto dell'immagine della sezione precedente (A), visto con un ingrandimento di 100 volte: qui risulta evidente che l'alluminio non presenta, contrariamente alle apparenze, una superficie perfettamente levigata, ma è piuttosto una sostanza cristallina, nella quale le dimensioni dei cristalli dipendono dalla temperatura, e dall'eventuale lavorazione meccanica che il metallo ha subito.

Si noti che i cristalli sono estremamente piccoli, di forma irregolare, e che sono disposti anche irregolarmente. Essi presentano quindi una struttura granulare specifica, nota col nome di **struttura policristallina.**

Ciò è importante, in quanto i corpi metallici conduttori dell'elettricità, come il rame, l'alluminio, ecc., se osservati al microscopio, rivelano appunto una struttura policristallina; le proprietà e le caratteristiche sono completamente differenti da quelle dei materiali aventi invece una struttura uniforme, o **monocristallina.**

Come vedremo a suo tempo, il Germanio ed il Silicio, allorché vengono sottoposti al processo di lavorazione necessario per la fabbricazione dei transistori, presentano appunto una struttura monocristallina.

Con un microscopio atto a fornire un'immagine ingrandita di 100 000 volte, si può osservare quan-



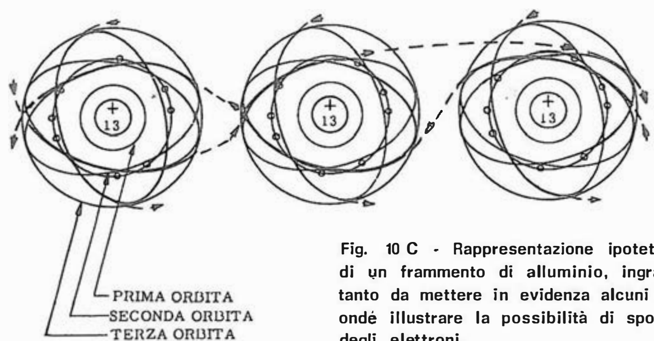


Fig. 10 C - Rappresentazione ipotetica di un frammento di alluminio, ingrandito tanto da mettere in evidenza alcuni atomi, onde illustrare la possibilità di spostamento degli elettroni.

to illustrato alla figura 9 alla sezione **C**, in cui è possibile stabilire in modo abbastanza evidente la presenza di atomi ad una certa distanza tra loro.

Nella sezione **D** della figura si ha un ingrandimento ipotetico di ben 10 000 000 di volte. In tali condizioni, sarebbe possibile osservare la presenza di singoli corpuscoli, di forma approssimativamente sferica, contornati da un'ombra circolare ed irregolare.

Tale è — presumibilmente — l'aspetto degli atomi di alluminio, che dovrebbe risultare assolutamente invariabile osservando più di un atomo.

Per determinare il diametro di un atomo occorrerebbe un ingrandimento di 100 000 000 di volte: ciò consentirebbe, come si può notare alla figura 9 in **E**, di osservare un solo atomo, che verrebbe così ad occupare l'intero campo visivo. Esso, come si può constatare, è del tutto analogo al sistema solare, in quanto si osserva un corpo centrale, di notevoli dimensioni in rapporto agli altri (paragonabile al sole, che si trova al centro del sistema planetario), e che costituisce il nucleo dell'atomo. Intorno ad esso ruotano un certo numero di particelle minori (paragonabili ai pianeti), gli elettroni che, come abbiamo precedentemente osservato sono dotati di carica negativa e si spostano ruotando lungo orbite ellittiche.

La determinazione del numero degli elettroni che — per così dire — gravitano intorno al nucleo, è cosa estremamente difficile, a causa del modo col quale essi ruotano. Tuttavia, è stato possibile accertare che esistono 13 elettroni nell'atomo di alluminio. Con sistemi analoghi, è stato del pari possibile accertare il numero degli elettroni che costituiscono ogni tipo di atomo, e che viene espresso come **numero atomico.**

Ionizzazione

Per principio, un atomo tende a rimanere nel suo stato normale, nello stato cioè in cui l'energia interna è minima; se questa però supera lo stato normale, l'atomo diventa **eccitato.**

L'eccitazione può essere prodotta in diversi modi, come ad esempio, in seguito all'urto dell'atomo con particelle positive o negative che si spostano ad alta velocità, le quali possono cedere tutta o parte della loro energia all'atomo durante la collisione. L'eccesso di energia assorbito dall'atomo stesso può essere sufficiente allora a far sì che gli elettroni delle orbite esterne, scarsamente attratti dal nucleo, abbandonino il loro posto nonostante la forza che tende a trattenerli nella loro posizione.

Un atomo che ha perso o guadagnato uno o più elettroni, viene detto **ionizzato**, ossia, se perde elettroni si carica positivamente e diviene un **ione positivo**, mentre viceversa, se ne acquista, si carica negativamente e diviene un **ione negativo**, per cui per **ione** si intende una particella di materia avente una carica positiva o negativa ben determinata.

Elettroni liberi

Quando un elettrone esterno viene allontanato da un atomo, diventa un **elettrone libero**, ed alcuni elettroni di certi atomi metallici sono uniti così leggermente ai nuclei che sono pressoché liberi di spostarsi di atomo in atomo; la minima forza, o il minimo ammontare di energia ne determina lo spostamento e li tramuta in elettroni liberi (vedi **figura 10 C**).

Tale movimento di elettroni liberi costituisce il passaggio della corrente elettrica in un conduttore.

Conduttori e isolanti

Da un punto di vista generale tutti i materiali possono essere divisi in due grandi categorie: conduttori e isolanti. Tale suddivisione si basa sulla loro maggiore o minore possibilità di permettere un passaggio di corrente (movimento di elettroni), e tale possibilità è a sua volta in stretta relazione con la struttura atomica.

Vi sono però anche materiali che stanno, per così dire, a metà strada tra i conduttori e gli isolanti in quanto hanno delle caratteristiche di entrambi. Sono i **semiconduttori.** Essi hanno acquisito grande importanza a seguito dell'invenzione del transistore.

Conduttori

Un buon conduttore è un materiale che ha un gran numero di elettroni liberi, e, in un certo senso, tutti i metalli sono conduttori di elettricità, pur considerando che alcuni di essi lo sono più di altri. Tra tali conduttori vi sono l'argento, il rame, l'alluminio, ecc., ma occorre considerare che se l'argento è, ad esempio, migliore conduttore del rame, il secondo viene usato più diffusamente in quanto è più economico; l'alluminio viene usato come conduttore nei casi in cui risulta di grande importanza il fattore peso.

La tendenza da parte del materiale a condurre l'elettricità dipende anche dalle sue dimensioni: i conduttori infatti si presentano sotto

forma di barre, tubi o fogli, ma i più comuni vengono usati sotto forma di filo.

Tutti conosciamo i cavi telefonici e le linee di distribuzione dell'energia elettrica: queste ultime sono realizzate con conduttori a filo e trasportano l'elettricità da un punto all'altro portandola nelle nostre case per accendere le lampadine e per azionare tutti i dispositivi elettrici di uso domestico.

Nelle varie applicazioni i conduttori a filo vengono usati in diverse misure, da quella capillare impiegata per la realizzazione delle bobine mobili dei delicati strumenti di misura, a quella di notevoli dimensioni usata per l'alimentazione delle linee tranviarie o ferroviarie. Generalmente, la proprietà di condurre l'elettricità varia direttamente col variare della superficie della sezione del conduttore, e ciò è dovuto al fatto che maggiore è la sezione, maggiore è il numero degli atomi presenti e quindi maggiore il numero degli elettroni liberi.

I cavi multipli vengono usati quando è necessaria una certa flessibilità, come ad esempio per le lampadine portatili, ferri da stiro, tostapane, ecc.; inoltre, allo scopo di renderli più maneggevoli e meno soggetti alle variazioni di temperatura e delle condizioni esterne, tali conduttori sono spesso ricoperti con altri materiali come gomma, cotone, plastica o smalto. Tali rivestiture evitano anche i cosiddetti «cortocircuiti» (contatti indesiderati tra il filo e oggetti estranei oppure tra fili diversi) e le dispersioni di corrente, e sono costituiti da materiali detti «isolanti».

Isolanti

Poiché i corpi isolanti sono elementi — o combinazioni di elementi — la cui struttura atomica è tale da evitare praticamente ogni movimento di elettroni, di atomo in atomo, si dice che «un corpo isolante ha pochi elettroni liberi».

Non esiste un materiale conosciuto come perfetto isolante, attraverso il quale non sia possibile cioè ottenere alcun passaggio di corrente, ma in compenso ve ne sono di tali le cui caratteristiche li rendono così poco conduttori, che per gli scopi normali vengono considerati praticamente isolanti pressoché perfetti.

La porcellana, il vetro, l'aria, il legno asciutto, la gomma e l'olio sono considerati materiali isolanti, e qui di seguito riportiamo un brevissimo elenco riassuntivo dei migliori conduttori e dei migliori isolanti, in ordine progressivo, a seconda delle loro qualità conduttive o isolanti.

Una delle cose principali che apprendiamo in fatto di elettricità è che, se non usiamo la massima prudenza nel maneggiare dispositivi che la utilizzano per il loro funzionamento, possiamo a volte avere la spiacevole e pericolosa sorpresa di prendere la così detta «scossa», ed i materiali isolanti vengono usati anche per evitare tale inconveniente.

CONDUTTORI

Argento
Rame
Alluminio
Ottone
Zinco
Ferro

ISOLANTI

Aria secca
Vetro
Mica
Gomma
Amianto
Bachelite

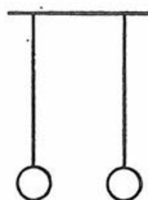


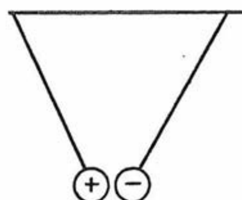
Fig. 11 C - Se due corpi elettricamente neutri sono posti a lato, non si manifesta alcuna forza di attrazione fra loro.

Come abbiamo già detto, gli isolanti vengono usati per evitare perdite di corrente: il lettore conosce certamente la struttura di una comune lampada elettrica, e sa perfettamente che nella sua realizzazione sono impiegati materiali sia isolanti che conduttori. La corrente elettrica che riscalda il sottile filamento giunge ad esso dopo aver percorso una serie di conduttori collegati al generatore di corrente, e se noi toccassimo detto filamento mentre è in funzione, riceveremmo una «scossa» e una bruciatura. Tuttavia, sappiamo che possiamo inserire o togliere una lampadina dal suo portalampada senza alcun pericolo, toccando soltanto il vetro. Ciò rende evidente che nel vetro non vi è passaggio di corrente elettrica sebbene esso sia in diretto contatto con le parti metalliche connesse al filamento: quindi, è un corpo isolante.

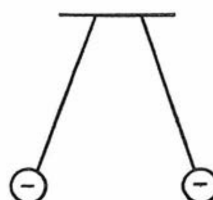
Elettricità statica

Una delle leggi fondamentali dell'elettricità afferma che **le cariche analoghe si respingono, mentre le cariche opposte si attraggono** (vedi **figura 11 C**), per cui nell'atomo esiste una forza di attrazione tra il nucleo positivo e gli elettroni negativi, che ruotano in orbita intorno ad esso.

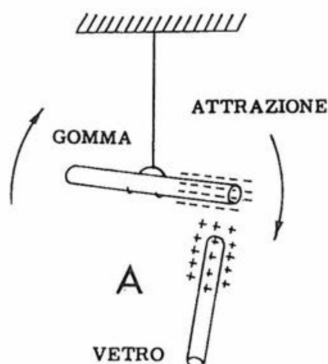
La parola statico deriva da stasi, e significa «assenza di movimento», ossia riposo, ed in origine l'elettricità statica fu considerata come

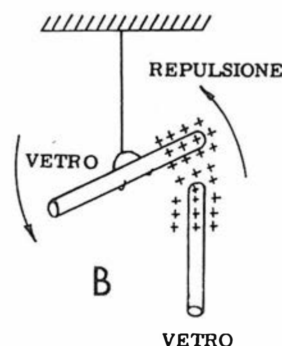


Se gli stessi corpi posseggono cariche elettrostatiche di polarità opposta, essi si attraggono reciprocamente.



Se invece le polarità attribuite ai medesimi corpi sono tra loro eguali, essi si respingono l'un l'altro.





Una bacchettina di gomma rigida acquista, per strofinio, una carica elettrica negativa, mentre un bastoncino di vetro, per azione analoga, acquista una carica positiva. Avvicinando l'uno all'altro i due bastoncini, come illustrato in figura, si constata una mutua attrazione (A). Se le bacchette sono entrambe di vetro, esse assumono cariche del medesimo segno e quindi si respingono (B).

ferma in quanto i fisici di tanti anni fa pensavano che l'energia elettrica prodotta dall'attrito fosse ferma.

È possibile effettuare un semplice esperimento per produrre delle scariche statiche: se si fa passare un pettine asciutto varie volte tra i capelli, con una certa energia, si ode uno scricchiolio e uno scoppiettio: ciò significa che si producono, in un primo tempo, delle cariche statiche tra i capelli ed il pettine a causa del trasferimento di elettroni dagli uni all'altro, trasferimento dovuto all'attrito; le scariche che seguono sono il rapido movimento degli elettroni stessi in direzione opposta, poiché le cariche di cui si è detto si neutralizzano a vicenda.

Se l'azione viene compiuta al buio, è possibile notare la presenza delle scariche grazie all'apparire di piccole scintille.

Cariche elettriche nei corpi

Nell'esperimento descritto può accadere che delle ciocche di capelli si dispongano ad angolo retto in quanto la perdita di elettroni ha caricato i capelli positivamente, e come si è detto, le cariche analoghe si respingono: d'altro canto il pettine, avendo acquistato degli elettroni in più, si carica di elettricità negativa.

Se il pettine viene posto allora in prossimità di un piccolo pezzo di carta, questo verrà attratto e rimarrà attaccato al pettine per un certo tempo; la carica negativa del pettine respingerà gli elettroni liberi della carta verso il lato più lontano dal pettine stesso, caricando invece positivamente il lato a contatto.

Le cariche opposte produrranno la forza di attrazione che determina il contatto; durante quest'ultimo però, alcuni degli elettroni in eccesso si sposteranno dal pettine alla carta caricandola di elettricità negativa e in seguito — poiché le cariche analoghe si respingono — il pezzetto di carta si separerà dal pettine.

Ricapitolando, un corpo si dice **carico** «se contiene un numero di elettroni superiore o inferiore al normale», e può essere rispettivamente negativo o positivo, a seconda se gli elettroni sono in eccesso o in difetto rispetto ai protoni, mentre «se ogni atomo ha un egual numero di elettroni e di protoni», il corpo è **scarico.**

La rimozione di elettroni da un corpo implica il suo contatto con un altro e poscia il suo allontanamento da quest'ultimo. Il secondo avrà un eccesso di elettroni, e quindi sarà caricato negativamente, mentre il primo avrà una deficienza di elettroni, per cui sarà positivo. Tale principio potrà essere verificato strofinando il vetro con la seta (come già si è accennato a proposito delle definizioni della diversa elettricità dovute a B. Franklin). Alcuni elettroni saranno tolti dal vetro e si uniranno alla seta in modo che il primo (con meno elettroni), sarà positivo, e la seconda (con abbondanza di elettroni), sarà negativa, e, per tutto il tempo in cui essi non verranno a contatto, manterranno le loro cariche. Tuttavia, non appena avranno la possibilità di toccarsi, l'eccedenza di elettroni della seta si trasferirà sul vetro neutralizzando la carica dei due corpi.

Legge di Coulomb sulle cariche

Abbiamo verificato sperimentalmente che i corpi caricati elettricamente si attraggono a vicenda quando le loro cariche sono opposte, e si respingono quando le loro cariche sono analoghe, per cui elettroni e protoni si attraggono a vicenda, mentre gli elettroni si respingono tra di loro, come pure i protoni stessi.

Le forze di attrazione o di repulsione variano col variare dell'intensità delle cariche e col variare delle distanze, e tale relazione viene considerata nella legge sulle forze scoperta da uno scienziato francese di nome Charles A. Coulomb. Tale legge afferma che:

I corpi caricati elettricamente si attraggono o si respingono reciprocamente con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle rispettive cariche, ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra i corpi (*).

La carica di un elettrone o di un protone potrebbe essere usata come unità di carica elettrica, ma non sarebbe pratico trattandosi di una quantità infinitesimale; come unità di carica elettrica si è invece adottato il **coulomb**, che equivale alla carica di 6 280 000 000 000 000 000 elettroni; come si è detto in una nostra nota, un modo più comodo di esprimere tale unità è $6{,}28 \times 10^{18}$ elettroni.

La carica elettrica, che si misura in coulomb, è rappresentata dal simbolo **Q.**

(*) Troveremo spesso le espressioni **direttamente proporzionale** ed **inversamente proporzionale**: accenniamo brevemente al loro significato, citando anche qualche esempio dimostrativo della legge di Coulomb.

La proporzione è una relazione che sussiste tra due grandezze o quantità, ed è «diretta» allorché l'aumento o la diminuzione di una di tali grandezze determina l'aumento o la diminuzione, in proporzione, dell'altra; e inversa, invece, se l'aumento di una grandezza determina una diminuzione, sempre in proporzione, dell'altra, o viceversa.

Ci riferiamo ora alla legge di Coulomb relativa alla forza che agisce su due corpi caricati elettricamente. Supponiamo che due corpi, A e B, abbiano rispettivamente delle cariche elettriche corrispondenti numericamente a 5 e 6. Il prodotto dei loro valori — ossia la forza con la quale i due corpi si attraggono (o si respingono, e ciò in relazione alla loro reciproca polarità) — è perciò 30. Se le citate cariche, ad esempio, raddoppiano e raggiungono cioè i rispettivi valori di 10 e 12, il prodotto è 120: come si vede, assai più del doppio del precedente prodotto che

Campi elettrici e linee di forza

Campo elettrico

Lo spazio che circonda i corpi caricati elettricamente o che è interposto tra di essi, e nel quale si avverte la loro influenza, si chiama **campo elettrico di forza**; esso non richiede un mezzo di collegamento né fisico né meccanico e può esistere in qualunque ambiente, sia esso aria, vetro, carta, ecc. o vuoto. **Campi elettrostatici** e **campi dielettrici** sono altre espressioni di uso comune che intendono la medesima cosa, cioè questa regione di forze.

I campi di forza si estendono nello spazio che circonda il loro punto di origine, e, generalmente, **diminuiscono proporzionalmente al quadrato della distanza della sorgente.**

Esempio di un campo di forza è quello della forza di gravità, che compenetra lo spazio circostante la terra e agisce attraverso il medesimo in modo da causare la caduta verso la terra stessa di tutti gli oggetti sospesi.

Newton scoprì la legge della gravitazione, la quale stabilisce che **ogni oggetto esercita una forza di attrazione su di un qualsiasi oggetto, in modo direttamente proporzionale al prodotto delle masse, ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra gli oggetti stessi.**

È possibile, da quanto sopra, notare l'analogia tra la legge di gravità e la legge di attrazione dei corpi caricati elettricamente; il campo gravitazionale tiene unito l'intero universo, poiché se detto campo non esistesse, i pianeti, compresa la terra, si sposterebbero senza meta nello spazio invece che girare intorno al sole, e la luna cesserebbe di ruotare intorno alla terra. Inoltre, a causa della rotazione della terra intorno al proprio asse, tutti gli oggetti ed i corpi che si trovano sulla sua superficie si allontanerebbero nello spazio. Analogamente, gli elettroni che ruotano ad alta velocità intorno al nucleo positivo dell'atomo, vengono mantenuti nelle loro orbite grazie alla forza di attrazione esercitata dal nucleo, per cui deduciamo che tra gli elettroni e detto nucleo che costituisce, come abbiamo precedentemente affermato, il centro del modello planetario atomico, deve necessariamente esistere un campo di forza.

Considerando le relative dimensioni, vi sono degli spazi enormi tra gli elettroni ed il nucleo, perfino negli atomi più densi; ad esempio, se una moneta di rame fosse portata alle dimensioni dell'orbita terrestre intorno al sole (un diametro di circa 250 000 000 di km), gli elettroni della moneta acquisterebbero in proporzione le dimensioni di un pallone da «foot-ball», e la distanza media tra loro sarebbe di circa 5 km.

Tale constatazione conduce alla considerazione che, in effetti, la concentrazione di materia nell'universo è assai modesta.

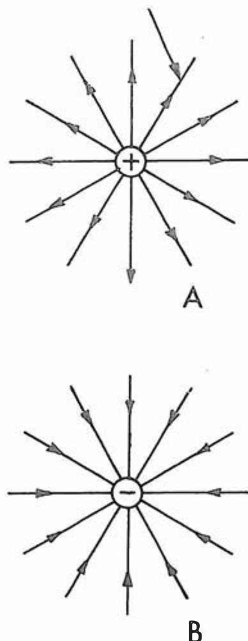


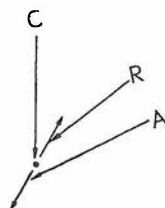
Fig. 12 C - Per individuare graficamente la direzione e l'intensità di un campo, si disegnano dei segmenti tutt'intorno al punto carico di elettricità. Secondo che il punto sia carico positivamente o negativamente, si segneranno le frecce rispettivamente dirette verso l'esterno (A) o verso l'interno (B).

Linee di forza

Per la rappresentazione grafica si usano delle linee per raffigurare la direzione e l'intensità dei campi elettrici di forza, e, mentre l'intensità del campo è indicata dalla densità (numero di linee nell'unità di superficie), la direzione è indicata da frecce le cui punte sono rivolte nel senso in cui una piccola carica di prova si muoverebbe o tenderebbe a muoversi qualora fosse eccitata da un campo di forza di opportuna polarità che agisse su di essa.

Per trovare la direzione nella quale una forza agisce, si può usare una piccola carica di prova, positiva o negativa, in quanto la forza del campo dielettrico agisce su entrambe. Tuttavia, arbitrariamente, si è convenuto di usare una piccola carica «positiva» per determinare la direzione del campo.

L'esperimento dimostra che la direzione del campo circostante una carica **positiva**, si allontana dalla carica stessa, poiché la carica positiva di prova viene **respinta**, e che la direzione del campo circostante una carica **negativa**, è rivolta verso la carica stessa in quanto la carica positiva di prova viene **attratta** (**figura 12 C** e **13 C**).



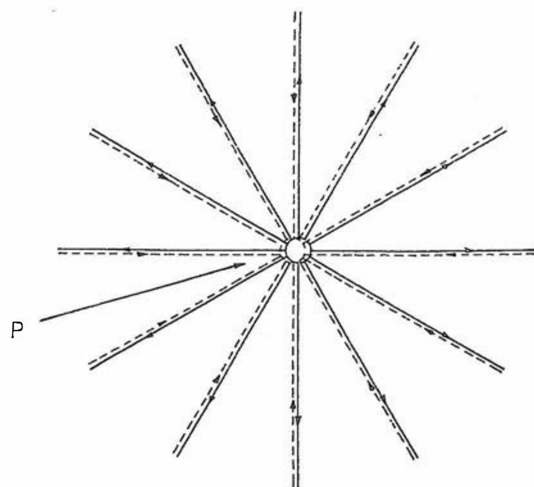


Fig. 13 C - Se immaginiamo che due punti — carichi rispettivamente, a parità di intensità, con elettricità di segno opposto — coincidano in P, lungo le linee di forza intorno al punto, in C per esempio, si manifesterà una forza di attrazione A, ed una di repulsione R eguali fra loro, per cui la forza risultante sarà nulla.

era 30. Analogamente, se dette cariche vengono diminuite (supponiamo ridotte a metà del loro valore) avremo rispettivamente valori di 2,5 e 3, il cui prodotto è 7,5: alla metà delle cariche corrisponde non la metà di 30, ma la quarta parte. Nell'uno e nell'altro caso l'azione è però sempre direttamente proporzionale.

Nella legge di Coulomb è preso in esame anche un altro fattore: la distanza tra i due corpi. Supponiamo che una forza F sussista tra i due già citati corpi, carichi rispettivamente 5 e 6 allorché essi si trovano distanziati di 5 cm. La legge cita in proposito il quadrato della distanza (abbiamo già spiegato che il quadrato di un numero equivale al numero moltiplicato per se stesso); nel nostro caso, essendo la distanza 5 cm, si ha 25 come suo quadrato. Il prodotto delle due cariche è, come si è detto, $5 \times 6 = 30$. Dividendo tale prodotto (30) per il quadrato della distanza (25) otterremo 1,2 come valore della forza F. Vediamo ora quale valore assume la forza se raddoppiamo la distanza (10 cm). Avremo, il già noto prodotto, 30, diviso il quadrato di 10 (10×10) che è 100, ossia avremo 0,3. la distanza è semplicemente raddoppiata ma la forza S è diminuita in relazione al quadrato della distanza. L'azione è pur sempre proporzionale, ma inversamente.

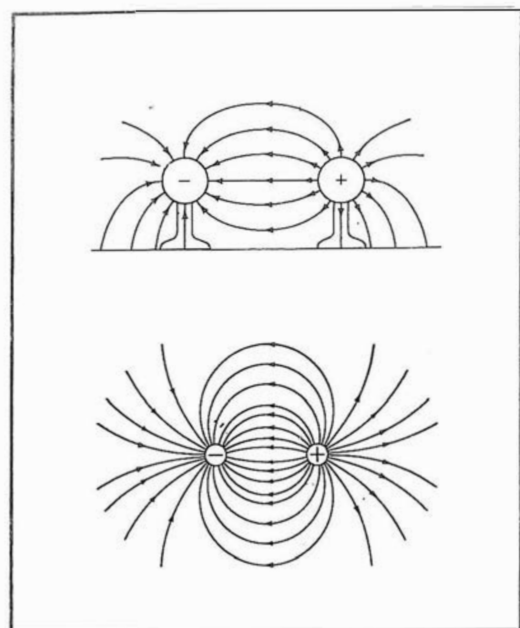


Fig. 14 C - Diversamente, se i punti carichi di elettricità di segno opposto, non coincidono, ma sono distinti, si stabilirà un campo elettrico come illustrato in figura (orientato dal positivo verso il negativo).

In **figura 14 C** si nota che la direzione del campo tra cariche contrarie va dal positivo al negativo. La **figura 15 C** mostra invece il campo elettrico circostante cariche analoghe, e si può notare che le linee di forza si respingono a vicenda; inoltre nella figura 15 C le linee di forza fra i due corpi caricati elettricamente non sono parallele, bensì si piegano all'infuori partendo dal centro, come se si respingessero, appunto, reciprocamente. In entrambe le figure le linee terminano sugli oggetti materiali e si estendono sempre, come si è detto, dalla carica positiva alla carica negativa. Esse sono considerate linee immaginarie nello spazio lungo le quali agisce una forza reale, ed in entrambi gli esempi, la direzione nella quale la forza agisce è, ripetiamo, la medesima nella quale una piccola carica positiva di prova si muoverebbe qualora fosse introdotta nel campo, ossia **dalla carica positiva verso la carica negativa.**

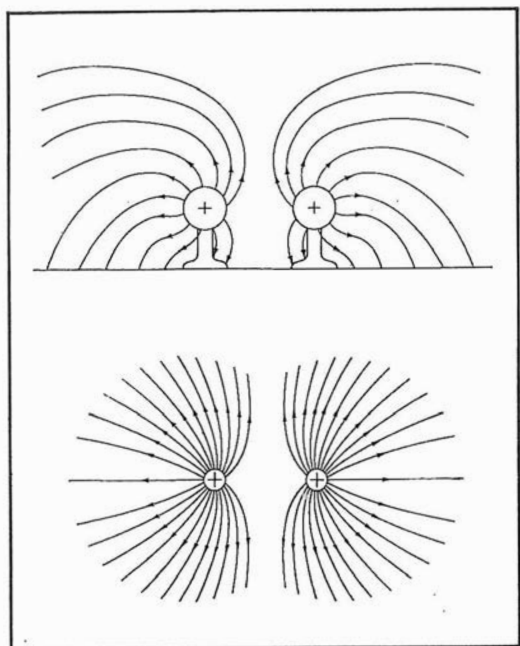


Fig. 15 C - Sempre fra due punti separati e carichi, se le cariche relative possiedono il medesimo segno si constaterà la presenza di una forza di repulsione. Si noti che le linee di forza non sono parallele, ma si incurvano verso l'esterno a partire dal centro.

La "corrente" elettrica

Fino a questo punto ci siamo riferiti esclusivamente all'«elettricità statica», ossia all'«elettricità immobile». Gli elettroni liberi presenti in un conduttore si muovono però, costantemente, e mutano la loro posizione secondo un sistema «vibrante».

Se una sorgente di energia (come ad esempio una pila o un generatore a corrente continua) viene collegata ai due terminali di un **circuito elettrico** (così si chiama il percorso predisposto per il passaggio della corrente) come è mostrato in **figura 16 C**, gli elettroni liberi cominciano quasi istantaneamente a muoversi lungo i conduttori, ossia lungo i loro assi, in un'unica direzione nel circuito stesso, e si considera che la «direzione» del movimento sia dal «terminale "negativo" della sorgente verso il terminale "positivo"», attraverso il carico.

Tale direzione è opposta a quella precedentemente stabilita per convenzione, secondo la quale la corrente scorre dal polo positivo a quello negativo. In effetti, nell'esposizione di

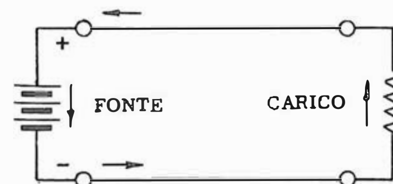


Fig. 16 C - Unendo i due poli di un generatore di corrente (Fonte) ad un « carico », si attua un « circuito elettrico ». In esso gli elettroni liberi cominciano istantaneamente a muoversi lungo i conduttori dando luogo alla « corrente elettrica ». Il senso del movimento degli elettroni è quello dal polo negativo al polo positivo, con passaggio attraverso il carico.

questo nostro Corso, viene scelta come base sulla quale si stabiliscono le regole che governano l'analisi dei circuiti, la «direzione del movimento elettronico» in quanto essa è l'esatta direzione del movimento degli elettroni nei conduttori e, come vedremo, anche nel vuoto e nei gas, ed è inerente al senso effettivo della corrente (o movimento di elettroni liberi); ad essa perciò dovrà riferirsi il tecnico.

Sebbene il movimento antiorario degli elettroni liberi in un circuito sia relativamente lento, la velocità di responso è molto elevata, per cui, non appena la sorgente di energia viene collegata al circuito, gli elettroni iniziano quasi immediatamente il loro movimento verso il «carico», il quale non è altro che il circuito stesso che costituisce il percorso degli elettroni messi in movimento dalla sorgente di energia. L'intervallo di tempo che intercorre tra l'istante in cui il circuito viene collegato alla sorgente e l'istante in cui inizia il passaggio di corrente nel carico può essere determinato dividendo la distanza tra la sorgente ed il carico per una costante corrispondente all'incirca alla velocità della luce, per cui se il carico si trova a 0,3 km dalla sorgente, l'intervallo di tempo equivale

a 0,3:300 000 km al secondo, ossia 0,000001 secondi, e tale intervallo viene definito per comodità 1 «microsecondo».

Quindi, l'inizio del passaggio di corrente è quasi istantaneo e si verifica contemporaneamente in tutti i punti del circuito al quale la sorgente è collegata; **tale movimento costituisce la corrente elettrica** propriamente detta.

Per determinare «l'ammontare» della corrente è necessario adottare un'unità di misura con la quale si possa lavorare; il termine che definisce l'unità di corrente (vedi **figura 17 C**) viene chiamato **ampère** e prende il nome dal filosofo Andrea M. Ampère il quale scoprì, nel 1823, le relazioni che sussistono tra il senso della corrente in un conduttore e la direzione del campo magnetico che lo circonda. La lettera I viene usata come simbolo per indicare la **corrente** elettrica.

Il passaggio di 1 ampère equivale al movimento di $6{,}28 \times 10^{18}$ elettroni (abbiamo visto che questa è la carica corrispondente ad 1 coulomb) al secondo, attraverso un determinato punto del circuito, e può essere paragonato alla portata d'acqua di un tubo conduttore espressa in litri al secondo.

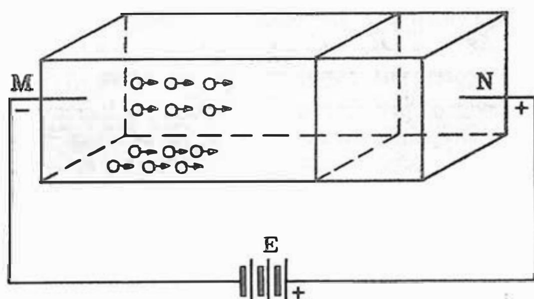


Fig. 17 C - Il movimento di 6280 × 10^{15} elettroni nella sezione di un conduttore, in un secondo, equivale all'unità di misura della corrente ossia ad 1 « ampère ». Gli elettroni, sebbene ne siano rappresentati solo alcuni, si intendono distribuiti lungo tutto il conduttore.

La portata di corrente in ampère, e la quantità di elettricità che percorre un circuito, sono in relazione in quanto hanno come fattore comune il «tempo». Per questo motivo la quantità di carica elettrica in coulomb mossa attraverso un circuito, equivale al prodotto tra la corrente in ampère **I**, e la durata del passaggio di corrente in secondi, rappresentata nella seguente equazione della lettera **t**.

$$Q = It.$$

Ad esempio, se una corrente di 2 ampère scorre in un circuito per la durata di 10 secondi, la quantità di elettricità che è mossa nel circuito stesso equivale a 2×10 ossia 20 coulomb.

Analogamente, se si fanno passare 20 coulomb attraverso un circuito in un tempo pari a 10 secondi, la corrente media sarà 20:10 ossia 2 ampère. È opportuno notare che il passaggio di corrente in ampère implica la quantità di coulomb al secondo senza indicare né i coulomb stessi, né i secondi, per cui il passaggio di una corrente di 2 ampère equivale, e resta sott'inteso, ad una portata di 2 coulomb al secondo.

La "tensione" elettrica

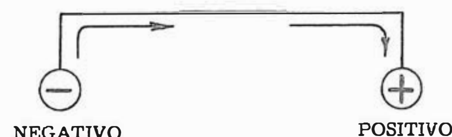


Fig. 18 C - Il movimento di elettroni di cui si è detto (corrente) tra due corpi caricati elettricamente e collegati mediante un conduttore ha luogo finché si verifica la forza che lo determina, ossia la « forza elettromotrice » o « tensione »; cessa quando le due cariche risultano bilanciate.

La forza che determina lo spostamento di elettroni liberi in un conduttore sotto forma di corrente elettrica si chiama **forza elettromotrice** (f.e.m.), o **tensione**, o **differenza di potenziale**, e quando essa esiste tra due corpi caricati elettricamente e collegati mediante un conduttore, gli elettroni scorrono attraverso quest'ultimo dal corpo negativo verso quello positivo, come si è già detto, finché le due cariche sono bilanciate, ossia finché la differenza di potenziale viene neutralizzata (**figura 18 C**).

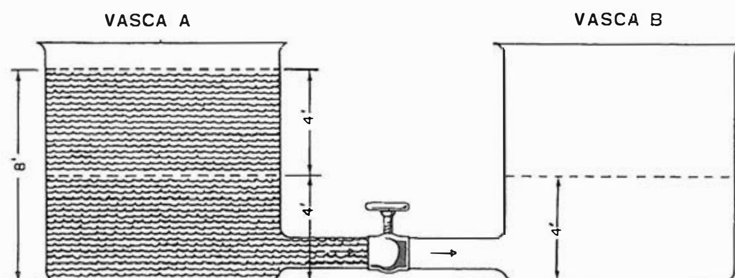
Una analogia di questi fenomeni è illustrata nella **figura 19 C** che rappresenta due recipienti d'acqua collegati attraverso un tubo, ed una valvola; in un primo tempo quest'ultima è chiusa e l'acqua si trova nel recipiente «A», per cui la pressione sulla valvola è al suo massimo valore. Quando essa viene aperta, il liquido scorre attraverso il tubo dal recipiente «A» al recipiente «B» finché raggiunge il medesimo livello in entrambi, ed a questo punto esso cessa di spostarsi in quanto tra i due recipienti non esiste più alcuna differenza di pressione.

Vi sono diversi metodi per generare una tensione elettrica, i più comuni sono le batterie o pile ed i generatori rotanti. Lo scienziato italiano A. Volta (1745-1827) inventò la prima pila elettrica, e l'unità di misura di tensione, il **volt**. venne così chiamata in suo onore.

L'intensità della corrente che scorre in un circuito elettrico è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale presente ai capi del circuito stesso, esattamente come il passaggio di acqua attraverso il tubo della figura 19 C è direttamente proporzionale alla differenza tra le altezze dei livelli nei due recipienti.

Una legge fondamentale dell'elettricità è pertanto che **la corrente è direttamente proporzionale alla tensione applicata.**

Fig. 19 C - Analogia del fenomeno della differenza di potenziale. Tra la vasca A e la vasca B (tra un polo e l'altro) esiste — quando la valvola è chiusa — (conduttore mancante o interrotto) la massima pressione (tensione). Aprendo la valvola (chiusura del circuito) ha inizio il passaggio verso B (corrente) sino al raggiungimento di un pari livello: il flusso cessa (non vi è più differenza di potenziale).



La "resistenza" elettrica

La resistenza elettrica è quella caratteristica di un circuito elettrico che «si oppone» al passaggio della corrente che lo percorre. Il semplice circuito della figura 16 C ha una resistenza di valore diverso nelle diverse parti che lo compongono, ossia nella sorgente, nel carico, e nei conduttori di collegamento.

Le dimensioni ed il materiale dei conduttori devono essere tali da mantenere la resistenza al valore più basso, in modo che la corrente possa scorrere altrettanto facilmente in essi, come l'acqua scorre attraverso il tubo che collega i due recipienti della figura 19 C non appena il rubinetto viene aperto.

Se la pressione dell'acqua rimane costante, il passaggio varia col variare dell'apertura del rubinetto stesso, in quanto minore è detta apertura, maggiore è l'opposizione al movimento del liquido, e minore è quindi la portata.

In un circuito elettrico, maggiore è il diametro dei conduttori, minore è la resistenza elettrica che essi oppongono al passaggio della corrente che li percorre. Nell'esempio analogo dell'acqua, l'attrito con le pareti interne del tubo si oppone al trasferimento del liquido da un recipiente all'altro; tale attrito è analogo alla resistenza elettrica.

La resistenza che il tubo oppone al passaggio dell'acqua dipende:

1) dalla lunghezza del tubo stesso;
2) dal diametro, e
3) dalla natura della superficie interna (liscia o ruvida).

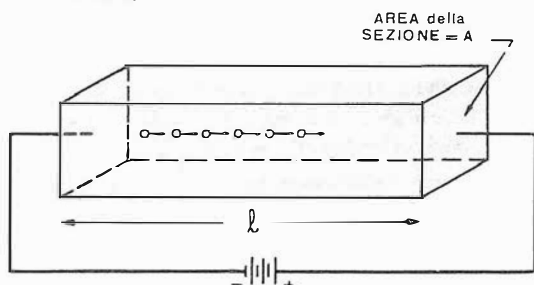


Fig. 20 C - **Un conduttore elettrico oppone una certa « resistenza » al libero passaggio della corrente; tale resistenza dipende dalla natura del materiale di cui il conduttore è formato, dalla sua lunghezza « l » e dall'area della sua sezione A.**

Analogamente, la resistenza opposta dai conduttori elettrici (**figura 20 C**) dipende:

1) dalla lunghezza dei conduttori;
2) dalla loro sezione, e
3) dalla natura del materiale impiegato (rame, alluminio ecc.).

L'unità di misura della resistenza è l'**ohm.** Essa è strettamente connessa, e deriva — come vedremo in seguito — dai valori delle altre entità elettriche presenti nel circuito e cioè: tensione (volt), e corrente (ampère). Ci sia sufficiente, per il momento, dire che un conduttore (o circuito) **ha la resistenza di un ohm quando una differenza di potenziale di un volt applicata ai suoi capi dà luogo allo scorrimento di una corrente di un ampère.**

Circuito elettrico

Per circuito elettrico, come abbiamo brevemente accennato (vedi figura 16 C), si intende un percorso predisposto affinché circoli in esso la corrente elettrica.

L'energia elettrica può essere trasmessa, in maniera efficiente, e con sistemi di controllo relativamente semplici, attraverso circuiti conduttori; le vaste reti di distribuzione dell'energia oggi usate per fornirla a città e paesi, sono una dimostrazione pratica del sistema di distribuzione a mezzo di circuiti.

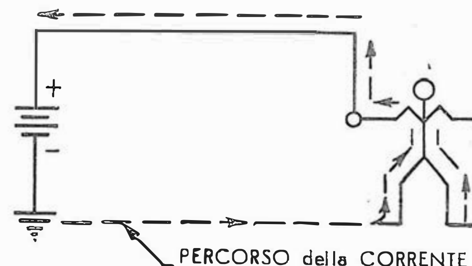


Fig. 21 C - **Se la sorgente di energia ha un polo collegato « a terra », è possibile avvertire il passaggio della corrente anche toccando un solo polo, in quanto il circuito viene chiuso mediante il contatto dei piedi col pavimento.**

Per circuito elettrico non deve intendersi però solo una rete di distribuzione di energia: anche un percorso ben definito, di pochi centimetri, costituisce una configurazione circuitale.

Quando, per una causa fortuita, la corrente evita il percorso stabilito e circola su di un percorso più breve e ad essa inadeguato, si dice che si è verificato un «cortocircuito», — in altre parole un circuito troppo breve — che porta spesso a conseguenze non desiderate e del quale abbiamo già fatto cenno parlando dei materiali isolanti, i quali sono impiegati appunto per impedire i cortocircuiti.

L'energia elettrica si manifesta sempre in un circuito elettrico chiuso (vedi **figura 21 C**), il quale, nella sua forma più semplice, consiste nel generatore dell'energia (a due terminali), in un carico che utilizza la corrente (avente anch'esso due terminali), e in due conduttori che portano dal generatore al carico, come è illustrato nella **figura 21 C bis.**

Affinché il lettore familiarizzi meglio con i concetti che qui abbiamo introdotto e che ci apprestiamo a sviluppare illustrando le leggi e le relative relazioni aritmetiche che li esprimono, prima di procedere ulteriormente riteniamo assai opportuno analizzare da un punto di vista essenzialmente pratico — valendoci di elementi

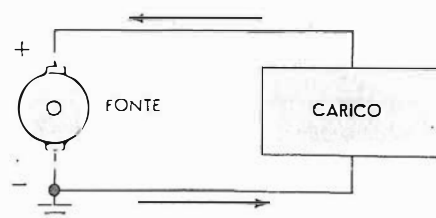


Fig. 21 C bis - **Il circuito elettrico più semplice consta di una fonte di energia, di due conduttori che la trasportano, e di un carico che la utilizza modificandone la forma.**

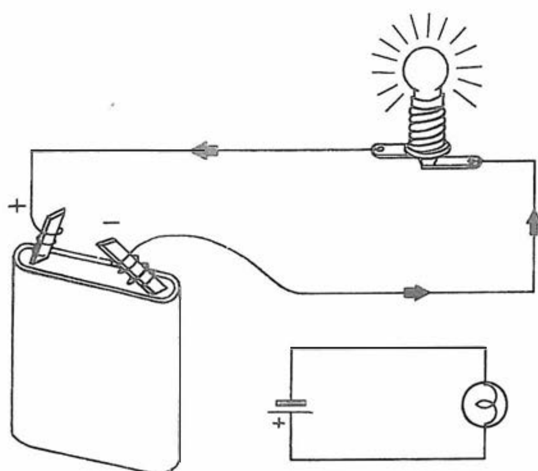
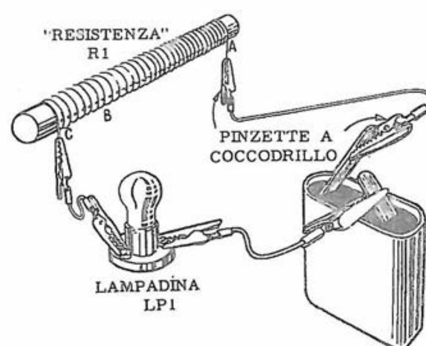


Fig. 22 C - Una comune lampadina, collegata mediante una coppia di conduttori ad una batteria, realizza in pratica una delle più elementari forme di circuito.



Al carico utilizzatore, che è qui sempre la lampadina come nella figura a fianco, si possono sommare anche altri carichi che, se non desiderati espressamente, vengono ad intralciare o a compromettere l'utilizzazione. Infatti, se nel circuito si introduce, come qui sopra, un resistore, la tensione disponibile in partenza (pila) non perviene più tutta alla lampadina perché R1 (carico passivo) offre una certa « resistenza » e provoca ciò che viene definito una « caduta di tensione ». La lampadina (LP1) si accenderà di meno. Diminuendo detta resistenza (portando la pinzetta a coccodrillo da « A » in « B ») la lampadina si illuminerà già di più, ma mai come in assenza di resistenza (pinzetta « A » su « C »). Si può dedurre che un circuito di questo tipo è tanto migliore nel suo rendimento quanto minore è la resistenza interposta tra la fonte ed il vero carico utilizzatore.

la cui esistenza è certamente a tutti nota — come nasce ed in che cosa consiste nella sua più immediata realtà quello che in senso del tutto generico abbiamo detto denominarsi « circuito elettrico ».

Ricordando quanto abbiamo affermato, sappiamo che ogniqualvolta due corpi carichi di elettricità di segno differente vengono collegati mediante un conduttore, si stabilisce un flusso unidirezionale e continuo di cariche che prende il nome di corrente elettrica. Abbiamo inoltre constatato che la corrente che si stabilisce istantaneamente, fluisce dal corpo carico di elettricità negativa verso quello carico di elettricità positiva.

Premesso quanto sopra, si definisce praticamente circuito elettrico nella sua più semplice ed intuitiva essenza un percorso atto al trasferimento delle cariche costituito non solo dall'elemento conduttore, ma anche da una opportuna fonte di forza elettromotrice, caratterizzata da un certo valore di tensione, attraverso la quale si chiude il suddetto percorso. In questo caso la corrente fluirà, entro la fonte, dal terminale positivo verso quello negativo, ed emergerà da quest'ultimo avviandosi nel conduttore nella direzione precedentemente definita.

Quanto abbiamo qui riferito corrisponde esattamente a quanto schematicamente illustrato in figura 21 bis ove è stato anche introdotto il concetto di carico utilizzatore dell'energia generata dalla fonte e trasferita mediante i conduttori.

Vediamo ora come una comune lampadina (carico utilizzatore) collegata mediante una coppia di conduttori (percorso del circuito) ad una batteria (fonte dell'energia), realizzi in pratica una delle più elementari forme di circuito elettrico quale quella schematizzata genericamente alla già citata figura 21 bis.

Come simbolizzato dalle frecce in **figura 22 C**, la corrente fluisce dal terminale negativo (—) della batteria attraverso la lampada, verso quello positivo (+) e continua il percorso entro la batteria dal terminale (+) verso il terminale (—).

Fintantoché detto percorso è continuo ciò significa che il circuito è chiuso e che in esso si manifesta il flusso di corrente. L'interruzione in un punto **qualsiasi** del percorso, aprirà il circuito interrompendo istantaneamente il flusso di corrente (**figura 22 C bis**).

La corrente che fluisce nel circuito esterno è costituita da uno spostamento di elettroni nel senso precedentemente definito (dal terminale negativo, attraverso la lampada, verso il terminale positivo).

Nel circuito interno della batteria invece la corrente è costituita — come vedremo in maggior dettaglio nelle prossime pagine — da uno spostamento simultaneo, ma in direzioni opposte di ioni positivi di idrogeno verso il terminale positivo della batteria e di ioni negativi verso il terminale negativo.

Uno spezzone di filo chiuso su se stesso (conduttore) non costituisce necessariamente un circuito. Lo diventa unicamente se include una sorgente, qualsiasi ne sia la natura, di forza elettromotrice.

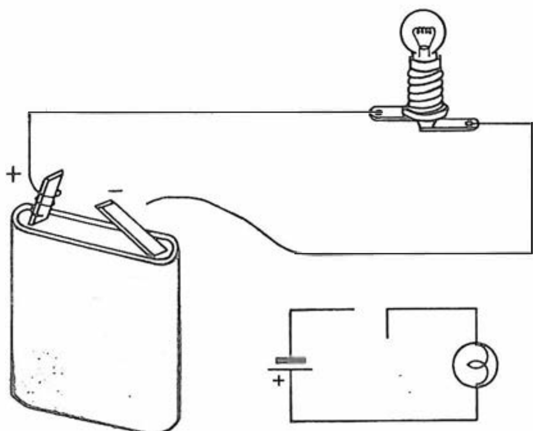


Fig. 22 C bis - L'interruzione in un punto qualsiasi del percorso, apre il circuito interrompendo istantaneamente il flusso di corrente che alimenta la lampada.



Seguendo le istruzioni, esposte sempre nell'ordine di esecuzione e corredate di numerose illustrazioni, si possono costruire, con una attrezzatura minima, apparecchi o strumenti che risultano pratici, di sicuro affidamento e di impeccabile presentazione. Vi è un'ampia scelta tra apparecchi d'uso e strumenti per le necessità del laboratorio.

Le scatole di m

La parte « pratica » di questo Corso — vale a dire quel testo che in modo particolare verrà dedicato a descrizioni riferite a possibili realizzazioni — è certo una delle sue caratteristiche di maggiore richiamo. Un tale settore deve permettere, a molti, un passo di notevole importanza nell'acquisizione di un'esperienza che ha da essere valida.

In altre parole, ciò significa che a montaggio terminato ci si deve trovare sempre con un complesso funzionante a dovere mentre — portando avanti la realizzazione — ci si deve poter rendere conto del perché un componente ha quel dato valore, a quale funzione sia destinato, come si comporti elettronicamente nei confronti delle altre parti, ecc.

Un'importanza non secondaria ha poi la scelta di ciò che è bene costruire, analizzare, usare. In linea di principio si può dire che vi deve essere un passaggio graduale da apparecchi semplici a montaggi più complessi e che, dal punto di vista economico, è assai opportuno che quanto viene costruito sia successivamente di reale utilità ed impiego.

Quest'ultimo punto, accomunato a quello prima accennato, della sicurezza dell'esito finale, ci ha indirizzati come vedremo, verso una scelta avente il pregio della garanzia massima sotto tale profilo. Per essere più precisi, vogliamo dire che nessun'altra soluzione ci è parsa maggiormente idonea di quella che si basa sul ricorso alle cosiddette « scatole di montaggio » che, in effetti, hanno il pregio di sommare non poche caratteristiche favorevoli che qui accenniamo.

Vantaggi dei « kit »

— Schema elettrico e disposizione costruttiva già studiata e sperimentata, confortata dai molti esemplari realizzati, a differenza di qualche singolo montaggio presentato su Riviste, da singoli autori.

— Aspetto e presentazione finale dell'apparecchiatura in forma competitiva con quella di apparecchi dallo stesso uso, sul mercato in vendita solo come tali.

— Possibilità di pervenire, con tutte le prerogative di cui sopra, al possesso di apparecchi o strumenti che spesso non sono altrimenti reperibili perché economicamente poco interessanti per una fabbrica, e purtuttavia utili e necessari.

— Disponibilità immediata di tutti i componenti (elettrici e meccanici) con valori appropriati, senza la necessità quindi di ricerche e di acquisti frazionati, non sempre completi e coordinati.

— Minimo di utensili e attrezzatura necessaria. Quasi sempre sono sufficienti il saldatore, le pinze, i cacciavite.

Va da sé che tutto ciò è valido se il fornitore, o per meglio dire, la Casa che appronta il « kit » offre le dovute garanzie di serietà e competenza. Purtroppo è questo un settore nel quale si assiste, da qualche tempo, ad una dilagante offerta di articoli, ritenendosi spesso che sia sufficiente aver costruito un esemplare prototipo per poterlo presentare — duplicando il circuito stampato — come un nuovo « kit » di sicuro affidamento.

Desiderando ovviamente, che i nostri lettori non incorressero in spiacevoli sorprese al riguardo, avessero le garanzie dovute, un'ampia possibilità di scelta ed una facile e pronta reperibilità, abbiamo dato la nostra preferenza ad un Nome che ci risulta essere oggi, nel ramo, uno dei più seri e rinomati in tutta Europa.

Come si presentano

Oltre a quanto esporremo noi su queste pagine, ad ogni « kit » in questione è allegato un ulteriore testo che può arricchire i concetti teorici ma che, soprattutto è di estrema utilità per il montaggio in se stesso.

Quest'ultimo è agevolato al massimo grado, tanto che si può affermare che il risultato finale è eguale sia per un principiante quanto per un esperto. Se le istruzioni sono lette con attenzione e le operazioni eseguite — nell'ordine indicato — con un minimo di cura, il funzionamento è certo.

Vi è un corredo di illustrazioni particolarmente chiare e precise; molti disegni sono stampati ingranditi rispetto alle dimensioni naturali per permettere un approccio più immediato ma, in particolare modo si rivelano di estrema utilità i cosiddetti disegni « esplosi » che rendono molto evidente la disposizione costruttiva dell'assieme o dei particolari.

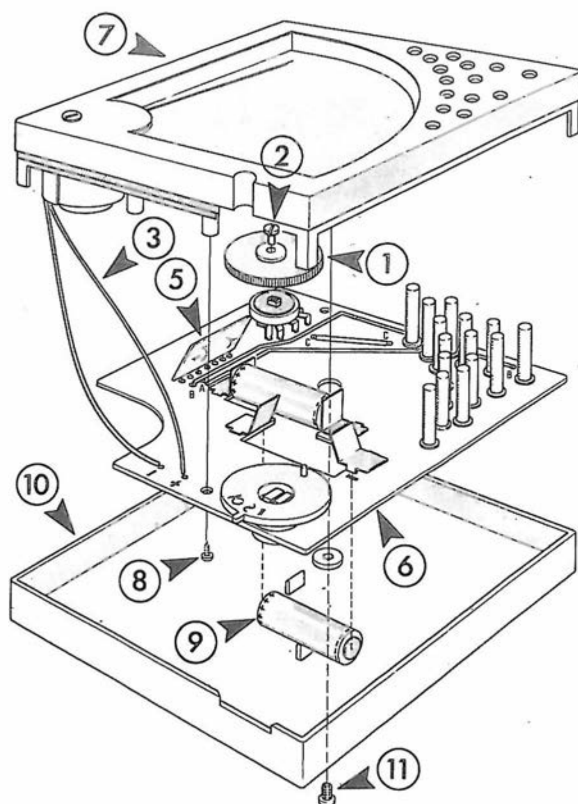
La tecnica del circuito stampato è adottata ampiamente e nel collocamento di ciascun componente sulle basette non vi può essere dubbio sia per la guida che offrono i disegni citati, sia perché sulle basette sono stampati le sigle, il valore, ed il profilo periferico di ogni singola parte.

Le basette, dal lato del rame sono protette con una apposita vernice che impedisce l'ossidazione e la corrosione delle piste di collegamento ma che, nello stesso tempo, non pregiudica minimamente le operazioni di saldatura.

Naturalmente, l'esperienza della Casa che appronta ed ha progettato il « kit » porta ad un sistema di presentazione, di istruzioni, di corredo, ecc. che tende a facilitare al massimo il compito del cliente. È per questo che oltre alle illustrazioni si hanno note di montaggio riportate come una sequenza di operazioni a piccoli gruppi, da svolgere passo a passo: per ciascuna di esse è addirittura prevista, accanto al testo, una casella di riferimento nella quale tracciare un segno di evidenza a fase terminata.

Un elenco dettagliato di tutti i componenti da reperire nella scatola, la quantità di ciascuno di essi, la sigla con la quale essi sono individuabili sullo schema e sui disegni, la garanzia dai difetti di fabbricazione, un riassunto delle caratteristiche tecniche, una confezione accurata e diversi altri accorgimenti sono altrettanti fattori di sicura riuscita: basta saper saldare... e lo stagno viene fornito, anch'esso, col materiale.

Il disegno « esploso » è di grande aiuto al tecnico che intraprende il montaggio; a corredo dei « kit » ne figurano varî se le necessità della costruzione lo richiedono. Riportiamo, a lato, quello relativo ad un multimetro («tester») che descriveremo in dettaglio nella quinta lezione. È uno strumento della « Amtron », la Marca da noi scelta per tutte le costruzioni di questo Corso.



I « kit » descritti

All'inizio è stato detto di una certa gradualità con la quale è bene affrontare le costruzioni nel senso di accingersi prima a montaggi tra i più semplici per passare poi ad altri più complessi. Ciò vale soprattutto per i principianti.

E ciò si accompagna del resto, al criterio di svolgimento del Corso. Ne deriva anche un'ulteriore guida nella scelta di quanto è consigliabile ed utile descrivere, nel senso che sino a quando non si è incontrata l'esposizione teorica di un dato argomento, l'apprendimento che si può trarre da un montaggio che lo riflette è di certo inferiore a quello che se ne può ricavare se quel soggetto è già stato esposto o, meglio ancora, se è sviluppato nella stessa lezione.

Tenendo presente questa logica, dopo di aver portato più volte il discorso sul ricevitore semplice, ecco ad esempio, sulle pagine seguenti la prima delle realizzazioni: quella, appunto, di un semplice radioricevitore.

Nella lezione prossima sarà consigliato l'approntamento di un raggruppamento di resistori campione con possibilità di commutazioni tali da consentire una scelta di valori molto ampia, da 0 ad un milione di ohm, con aumenti di valore di 1 ohm alla volta. Del pari viene fatto per dei condensatori (da 100 pF a 220 000 pF). Si tratta di una prima dotazione suggerita per il laboratorio, riferita ai due componenti base di tutti gli impieghi, componenti sulle cui funzioni il lettore ha già avuto modo di farsi un'idea sufficientemente indicativa.

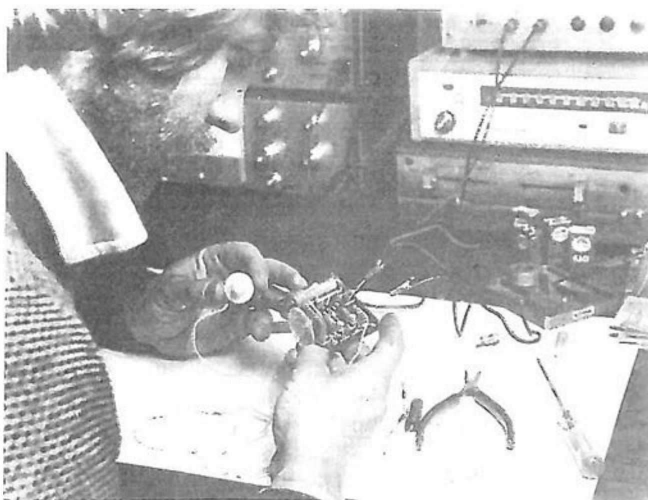
Al laboratorio, o quanto meno alla propria attrezzatura il tecnico deve aggiungere subito dopo uno strumento assolutamente indispensabile: l'analizzatore, o multimetro; sarà oggetto della stessa lezione che esporrà i princìpi di funzionamento degli strumenti di misura, la quinta.

E, via via le descrizioni e le analisi dello schema che — si noti — formeranno un utilissimo complemento al testo dato col materiale, si accompagneranno agli altri montaggi, tutti proposti nei due settori tipici: apparecchi d'uso domestico e apparecchiature di misura.

In questi due ampi settori, dal momento che il Corso si occuperà di tutti gli argomenti, si incontreranno descrizioni di amplificatori di Alta Fedeltà, di apparecchi riceventi e trasmittenti dilettantistici, di radiocomando, di generatori campione, sintonizzatori, dispositivi elettronici vari quali sistemi interfonici, orologi digitali, riproduttori per musicassette, ecc. ecc.

Consentiremo così allo studioso di pervenire ad un reale, pratico e sommamente utile contatto con strumenti, apparecchi e componenti, contatto che rappresenterà in realtà il suo sapere e la sua padronanza della tecnica. Sarà poi nostra cura far sì che — e in ciò sta anche l'esclusività e la novità del nostro sistema — tutta l'evoluzione successiva nel tempo gli sia esposta, illustrata, commentata con nuovi fascicoli di aggiornamento.

Costruzione di un ricevitore radio



Poche operazioni di montaggio, pochi utensili... Anche se questa è la vostra prima costruzione potete essere certi del buon esito. Funziona subito e permette l'ascolto di molte stazioni, specialmente nelle ore notturne.

Si può essere indotti ad accingersi ad una costruzione come quella che presentiamo per diversi motivi. È evidente che tra di essi, nel nostro caso, quello che mira all'impiego dell'apparecchio come mezzo regolare di ascolto dei programmi è il meno determinante, anche se non è del tutto da escludersi che questo minuscolo ed economico ricevitore possa tornare utile sotto questo profilo.

L'aspetto più attraente di questo montaggio sta nella possibilità che esso offre a chi si avvicina per la prima volta alla nostra tecnica, di realizzare un vero e proprio ricevitore, sorprendente nel suo funzionamento, per pervenire al quale il costruttore avrà compiuto le sue prime operazioni di montaggio. Operazioni semplici e non numerose, ma non dissimili da quelle che dovrà affrontare in seguito se vorrà approntare apparecchi o strumenti più complessi.

E non è certo secondaria la soddisfazione di veder nascere a seguito del proprio lavoro-divertimento quell'oggetto un po' sempre misterioso che è un apparecchio radio funzionante. Renderlo meno misterioso, anzi, conoscerlo addirittura nel suo intimo è però quanto si prefigge il costruttore e noi stessi per gli evidenti intenti che il Corso persegue. Per fare ciò, eccoci all'analisi dello schema nello sviluppo della quale è da presumere che quanto abbiamo già detto sulla ricezione nelle ultime pagine della lezione precedente sia ben presente al lettore.

Analisi dello schema

Ci si ricorderà perciò che un diodo può « rivelare » e con una tale sua azione metterci a disposizione quei segnali fonici che l'emittente ha affidati all'onda portante. Ci si ricorderà anche che un transistore è un dispositivo capace di amplificare i segnali.

Nel nostro ricevitore abbiamo due distinti settori: uno destinato alla rivelazione (**figura 23 C**) ed uno destinato all'amplificazione del segnale rivelato (**figura 24 C**).

Nel primo, per principio, necessita un diodo e nel secondo un transistore; ma dal momento che in un transistore due elementi (una « giunzione ») costituiscono un vero e proprio diodo, nel primo settore troviamo in realtà **Tr1** che tra base ed emettitore adempie al pari di un qualsiasi diodo tale funzione però, nello stesso tempo, abbiamo il vantaggio di raccogliere sul suo collettore un segnale anche amplificato.

Come questa funzione di rivelazione avvenga in relazione ad una particolare polarizzazione degli elettrodi di Tr1 vedremo in modo specifico tra breve.

L'antenna ci mette a disposizione l'energia a radiofrequenza che essa è in grado di captare ma noi dobbiamo — è noto — in certo qual modo « esaltare » quella dell'emittente che ci interessa. Sappiamo che è il circuito accordato che ci consente ciò: nel nostro caso esso è formato da L2 – L1/C1. Rappresentando C1 un diverso valore di capacità a seconda della rotazione del suo albero di comando, si potrà trovare la posizione (valore) più appropriata per la sintonizzazione sull'onda che interessa. Questo, ben inteso, fermo restando il valore dell'induttanza.

Se l'induttanza viene costruita in modo da offrire a scelta, due diversi valori, l'escursione di C1 consentirà l'esplorazione di due diverse gamme. È questo il motivo per cui l'induttanza è

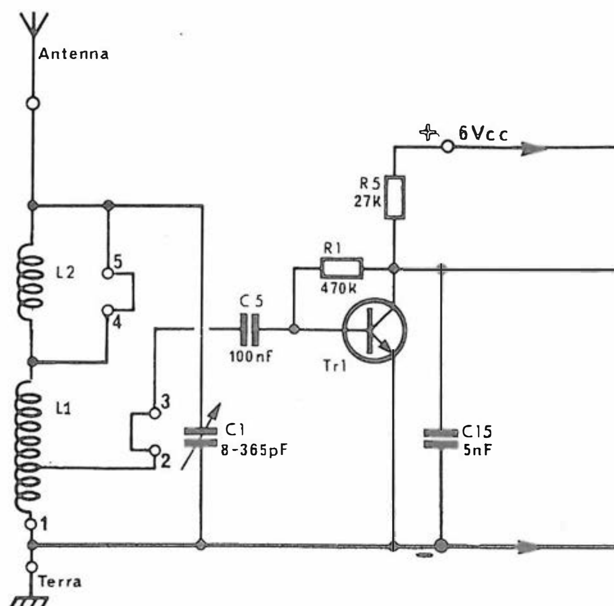


Fig. 23 C - Il primo settore dell'apparecchio è già un ricevitore completo. A differenza di quelli visti sinora che usufruivano di un diodo impiega un transistore (Tr1) che però rivela come diodo ma fornisce un segnale anche amplificato.

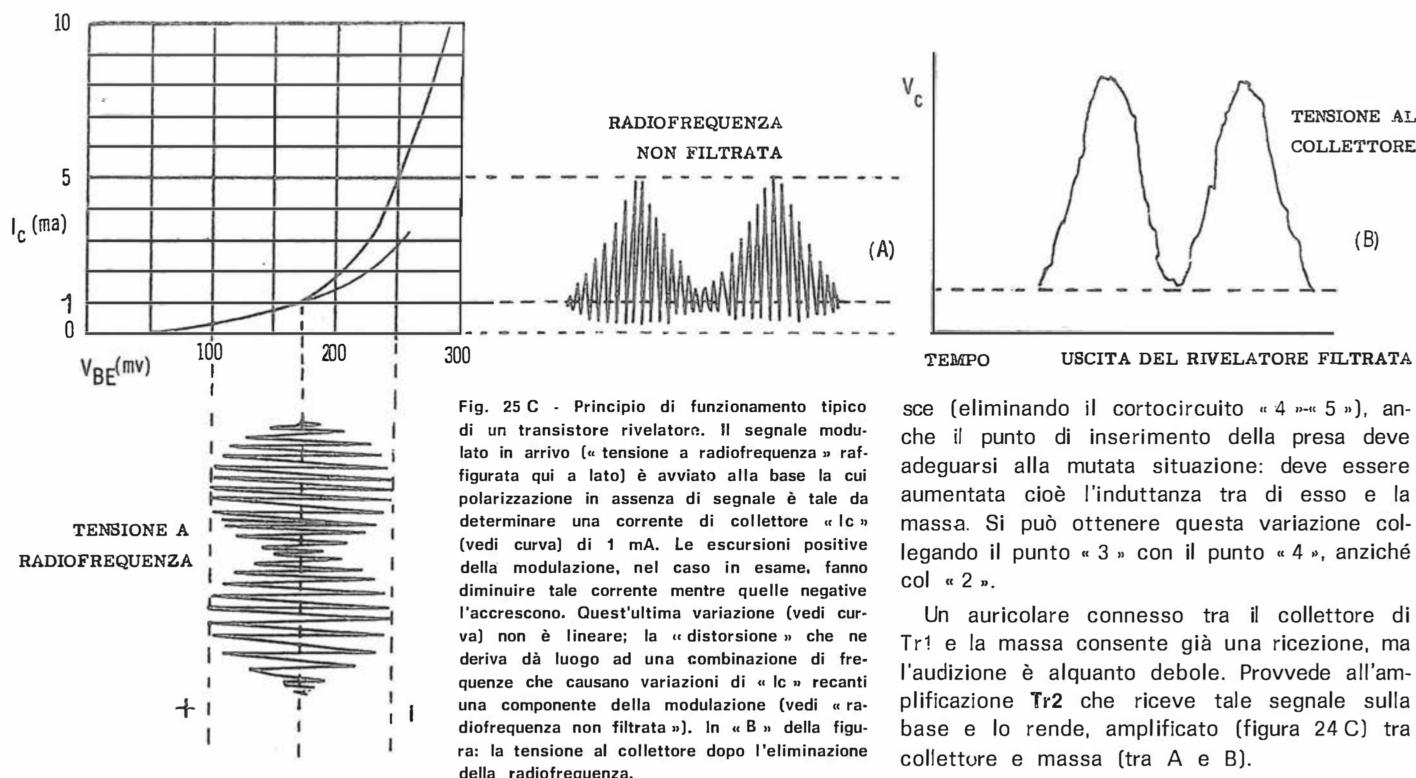


Fig. 25 C - Principio di funzionamento tipico di un transistore rivelatore. Il segnale modulato in arrivo (« tensione a radiofrequenza » raffigurata qui a lato) è avviato alla base la cui polarizzazione in assenza di segnale è tale da determinare una corrente di collettore « Ic » (vedi curva) di 1 mA. Le escursioni positive della modulazione, nel caso in esame, fanno diminuire tale corrente mentre quelle negative l'accrescono. Quest'ultima variazione (vedi curva) non è lineare; la « distorsione » che ne deriva dà luogo ad una combinazione di frequenze che causano variazioni di « Ic » recanti una componente della modulazione (vedi « radiofrequenza non filtrata »). In « B » della figura: la tensione al collettore dopo l'eliminazione della radiofrequenza.

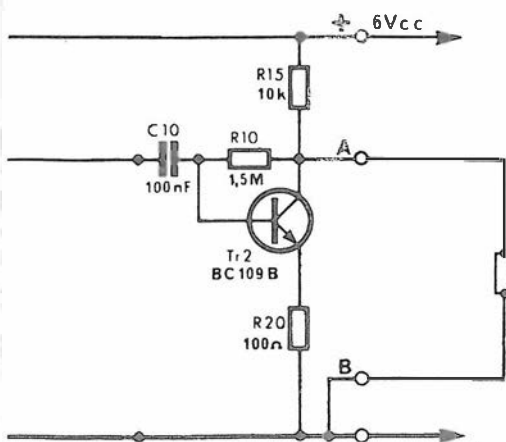
frazionata in L2 – L1; col ponticello tra « 5 » e « 4 » inserito, come da schema, la parte L2 è cortocircuitata ed è come non fosse presente; è attiva solo L1. Estraendo il ponticello l'induttanza totale è evidentemente L2 + L1.

Nel primo caso (in funzione solo L1) esploreremo la gamma delle onde Medie; nel secondo caso (L2 + L1 = maggiore induttanza) l'accordo si verificherà sulle onde Lunghe.

Sull'induttanza, ricordiamo, è opportuno sia disponibile una presa. Abbiamo già detto dell'importanza di questa presa che abbiamo definita presa di carico; la vediamo su L1 diretta, passando nel ponticello « 2 »-« 3 », appunto al carico (base di Tr1). Se per il cambio di gamma l'induttanza del circuito accordato si accresce (eliminando il cortocircuito « 4 »-« 5 »), anche il punto di inserimento della presa deve adeguarsi alla mutata situazione: deve essere aumentata cioè l'induttanza tra di esso e la massa. Si può ottenere questa variazione collegando il punto « 3 » con il punto « 4 », anziché col « 2 ».

Un auricolare connesso tra il collettore di Tr1 e la massa consente già una ricezione, ma l'audizione è alquanto debole. Provvede all'amplificazione **Tr2** che riceve tale segnale sulla base e lo rende, amplificato (figura 24 C) tra collettore e massa (tra A e B).

Fig. 24 C - Il secondo settore de 'apparecchio è un amplificatore di Bassa Frequenza; riceve (base di Tr2) il segnale di cui in « B » della figura che segue e lo applica, amplificato (collettore di Tr2) ad un auricolare a cristallo.



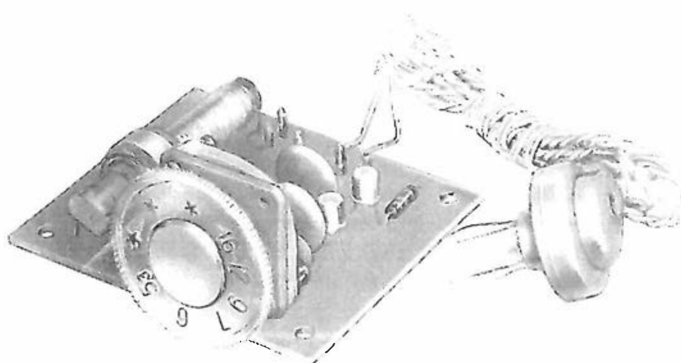
L'apparecchio è molto piccolo: misura cm 6,5 × 5,5 (vedi figura 30 C). Potrebbe essere racchiuso con la propria pila (6 V) in una scatoletta o in altro contenitore alto 4 o 5 cm. Il consumo di corrente è esiguo per cui la durata della pila è rilevante.

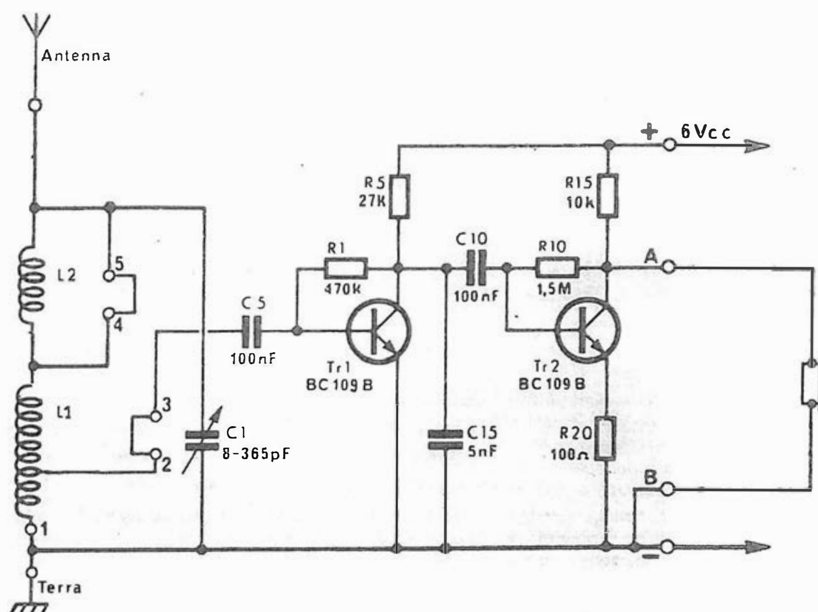
Il transistore come rivelatore

La tensione d'uscita di un diodo rivelatore è sempre leggermente inferiore a quella d'entrata (l'efficienza della rivelazione non può mai essere eguale al 100 per cento). Questa leggera perdita di segnale dovuta alla rivelazione non ha importanza pratica negli abituali ricevitori per radiodiffusione che noi conosciamo. Tuttavia, si presentano casi, in elettronica, nei quali è necessario rivelare un segnale di piccolissima ampiezza. Sorgono allora due problemi.

Primo, dato che il segnale è molto piccolo, la perdita dovuta alla rivelazione anche se leggera non è desiderabile, e in alcuni casi è addirittura compromettente.

Secondo, diventa necessario impiegare un dispositivo che sia assai più sensibile alle piccole variazioni di segnale che non il diodo. Nelle apparecchiature a transistori, quale è quella di cui ci occupiamo, il problema può





essere risolto adottando un transistore in funzione di rivelatore.

Il circuito rivelatore a transistore abbina le azioni di rivelazione con quelle di amplificazione nello stesso dispositivo.

Un circuito del genere è quello che abbiamo testè visto per Tr1 del nostro ricevitore. Prima di esaminare il funzionamento del transistore come tale diamo un breve cenno esplicativo delle funzioni dei componenti relativi.

R5 ed R1 (figura 23 C) costituiscono un partitore di tensione che determina il punto di funzionamento sulla sua curva (vedi anche **figura 25 C**). C5 consente l'entrata del segnale modulato da rivelare al rivelatore stesso ed in pari tempo impedisce che la tensione continua di polarizzazione (in altre parole, la tensione che deve essere presente alla base di Tr1 per porlo in condizioni di rivelazione) sia cortocircuitata a massa (polo negativo dell'alimentazione) attraverso la presa su L1 ed L1 stessa.

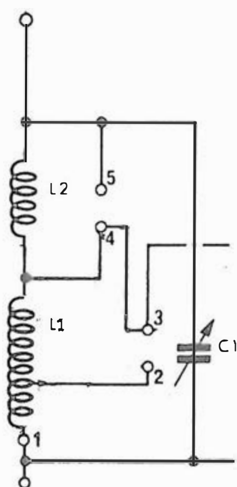
C15 è la capacità di filtro a radiofrequenza mentre R5 è oltre che resistenza di partizione, resistenza di carico; entrambe hanno il compito di estrarre l'inviluppo di modulazione eliminando la radiofrequenza. Il transistore, come abbiamo detto, agisce da rettificatore parziale e da amplificatore. Vediamo ora con l'aiuto della figura 25 C come avvengono le azioni alle quali abbiamo accennato.

Tra la presa su L1 e la massa (a quest'ultima è connesso anche l'emettitore di Tr1) si sviluppano le alternanze del segnale a radiofrequenza modulato ricevuto.

In un circuito con transistore rivelatore, le alternanze modificano la polarizzazione stabilita per la base di Tr1 e di conseguenza modificano la corrente al suo collettore. In questo modo, la corrente di collettore è costretta a variare al regime di variazione della radiofrequenza. Nel segnale entrante sono presenti varie radiofrequenze che si combinano tra loro; ciò con la non-linearità del transistore, fa sì che le variazioni della corrente di collettore includano anche una componente di modulazione.

Fig. 26 C - Schema elettrico completo. I collegamenti dei ponticelli di commutazione bobine sono in posizione di ricezione onde Medie: solo L1 è in funzione. Il tipo di antenna scelto ha molta importanza sui risultati. Anche il collegamento « Terra » (tubo dell'acqua o del termosifone) ha notevole influenza.

Fig. 27 C - Per la ricezione delle onde Lunghe il cavallotto risulta come in figura. Se qualche stazione in tale gamma è sempre ricevibile è utile inserire un commutatore che effettui la variante indicata.



Dato che le variazioni di corrente del collettore sono applicate all'assieme di filtraggio già citato R5-C15, le frequenze alte (radiofrequenza) risultano filtrate e rimane una tensione a componente continua che però varia in accordo alla modulazione originale: essa si sviluppa ed è presente, ovviamente, tra il collettore e la massa.

Quanto abbiamo testè detto, e cioè il funzionamento dinamico di un transistore rivelatore può essere meglio compreso osservando la curva caratteristica (figura 25 C). Essa, trae origine da valori della corrente di collettore (indicata I C) riferiti alla tensione applicata alla base nei riguardi dell'emettitore (V BE). Questa curva, come si vede in figura, mette in evidenza la pronunciata non-linearità della corrente di collettore rispetto alla tensione-base emettitore.

Nell'esempio, la tensione simmetrica a radiofrequenza entrante ha delle punte (positive e negative) di 75 mV; il punto di funzionamento è stato stabilito per una tensione base-emettitore di 175 mV, ciò che porta ad una corrente di collettore di 1 mA.

Si può osservare ora che le escursioni negative (aumento in V BE) del segnale entrante producono assai maggiori variazioni I C di quelle positive (diminuzione di V BE).

Si osservi che la forma d'onda d'uscita indicata rappresenta le variazioni di corrente del collettore « prima » dell'applicazione di componenti di filtraggio. I valori di questi ultimi sono scelti in modo da presentare una costante di tempo lunga per le radiofrequenze, mentre per le frequenze di modulazione (audio) tale costante di tempo è di tempo breve; questa differenziazione trasforma l'uscita in una tensione che segue con buona precisione i picchi di variazione della corrente di collettore (I C), così come si vede, sul lato (B) della figura.

Il maggiore vantaggio di una rivelazione a transistore su quella a diodo e la sua possibilità di fornire un segnale d'uscita utile con un segnale d'entrata estremamente piccolo. Il principale inconveniente è che il rivelatore a transistore non può tollerare in entrata un segnale così ampio come quello applicabile ad un rivelatore a diodo. Nel nostro caso, è evidente, data l'esiguità dei segnali entranti, del dispositivo si hanno unicamente i vantaggi.

Costruzione e funzionamento

La costruzione, anche se si è alle primissime esperienze, richiede poco tempo e non riteniamo vi possano essere difficoltà di interpretazione. Il montaggio è grandemente agevolato dai

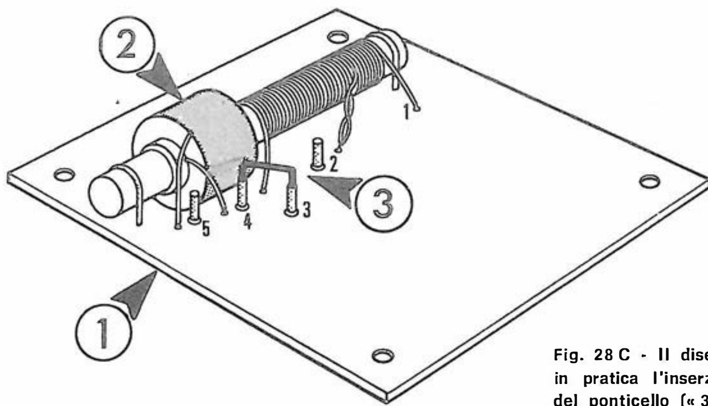


Fig. 28 C - Il disegno mostra in pratica l'inserzione del ponticello (« 3 » con « 4 ») corrispondente allo schema della figura precedente. Sono indicati con « 1 » il circuito stampato, con « 2 » la bobina L2 e con « 3 » il cavallotto.

disegni (vedi ad esempio, le **figure 28, 29** e **30 C**) e da tutte le altre indicazioni che accompagnano il « kit »: tra queste, è assai utile la suddivisione in fasi delle operazioni perché l'elencazione ha l'intento di evitare difficoltà derivanti dalla presenza di un componente nell'installazione di un altro. Ciò vuol dire che è molto opportuno seguire l'ordine delle operazioni così come le stesse sono cronologicamente indicate.

Vi sono alcuni piccoli accorgimenti che è bene fare propri, sì da farli diventare una norma o un'abitudine per tutti i montaggi. Ecco qualche suggerimento in proposito:

— Collocare per primi sempre i componenti passivi più piccoli (prima i resistori e poi i condensatori); ciò permette di maneggiare agevolmente (capovolgere, appoggiare, ecc.), per la maggior parte del montaggio, la basetta a circuito stampato.

— Prima di troncare i gambi dei componenti saldati al rame, lasciare raffreddare la saldatura: eventualmente, nel frattempo, eseguire la saldatura di un altro componente. Ciò agevola la dissipazione del calore a vantaggio del componente.

— Con transistori, diodi, circuiti integrati, applicare la regola di cui sopra per ogni elettrodo, saldando nel frattempo altri due o tre componenti.

— Con i resistori saldare invece, sempre, subito dopo un gambo, l'altro gambo dello stesso componente; si evita di riscaldare due volte il resistore e si agevola la seconda saldatura.

— Collocare i resistori con l'ordine dei colori del codice da sinistra a destra (o dall'alto verso il basso). Nei controlli e nelle riparazioni dei propri montaggi non si avranno incertezze o confusione nella lettura del valore.

— I valori riportati sui condensatori o su altri componenti è bene risultino leggibili sempre, a montaggio effettuato.

— Se l'apparecchio è a più settori, controllare quello terminato prima di iniziarne un altro; se il settore lo consente e se ne ha la possibilità, provarne il funzionamento.

— Fare un esame finale accurato di controllo (con l'ausilio dello schema elettrico) del montaggio prima di avviare la tensione di alimentazione allo stesso.

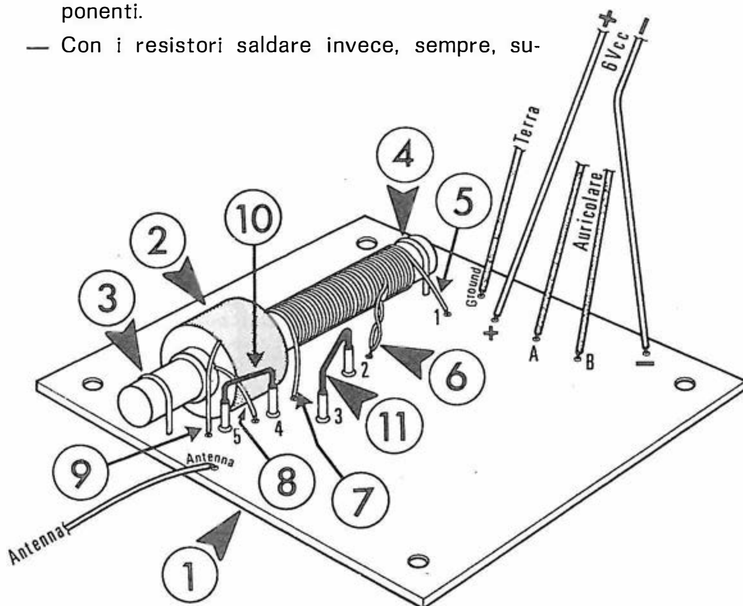
Per tornare al presente apparecchio diremo che, come è intuitivo, molto di ciò che esso consente dipende dal mezzo di captazione impiegato. È difficile che si abbia a disposizione una estesa antenna esterna per cui nella maggior parte dei casi, specialmente in città, ci si dovrà accontentare di antenne di fortuna e tra le combinazioni antenna-terra possibili scegliere quella che più soddisfa.

Si proverà un collegamento al tubo dell'acqua, del termosifone, del gas, usati come mezzo di captazione e si osserverà se mentre uno dei detti collegamenti funge da antenna, l'attacco — come terra — ad uno degli altri apporta vantaggi. In certi casi si avranno aumenti di sensibilità, in certi altri, di selettività.

Quest'ultima può essere incrementata, se necessario, con un filtro d'antenna che agisce ed è configurato così come si è detto a pagina 3 c.

Se il montaggio viene racchiuso in un contenitore unitamente alla sua batteria è utile inserire in serie ad uno dei conduttori di alimentazione un piccolo interruttore per inserire e disinserire l'apparecchio.

Fig. 29 C - L'apparecchio con i conduttori per l'esterno; è in posizione di ricezione onde Medie (ponticelli « 10 » e « 11 »). Il « 3 » ed il « 4 » ancorano la bobina multipla; «5 » è l'inizio, « 6 » la presa e « 7 » la fine di L1. L'« 8 » è l'inizio ed il « 9 » la fine di L2.



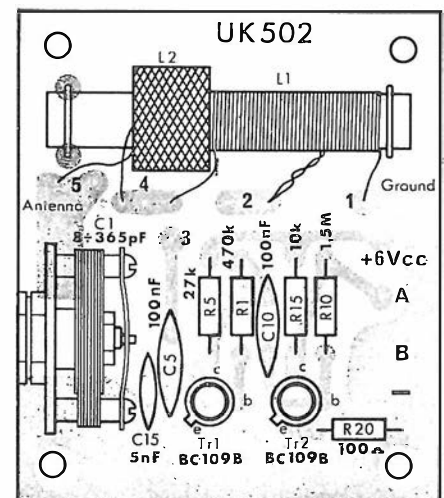


Fig. 30 C - Il circuito stampato visto dal lato componenti e con gli stessi tutti inseriti. Per « trasparenza » è visto anche il rame sottostante (grigio). Le dimensioni del disegno sono quelle dell'apparecchio.

Pile e accumulatori

Vi sono diversi modi per produrre una tensione elettrica; citiamo qui quelli maggiormente utilizzati:

1) chimicamente, inserendo ad esempio due elettrodi rispettivamente di carbone e di zinco, in una soluzione di acido solforico ed acqua;

2) meccanicamente, muovendo un conduttore attraverso un campo magnetico (vedremo tra breve che cos'è quest'ultimo) in modo che esso tagli le linee di forza;

3) mediante frizione, come avviene quando un bastoncino di ebanite viene strofinato contro un panno di lana;

4) mediante esposizione al calore di una coppia di metalli diversi in contatto tra loro, come ad esempio rame e ferro;

5) mediante l'effetto piezoelettrico, basato sul fatto che alcuni cristalli emettono delle scariche elettriche quando vengono sottoposti a sollecitazioni meccaniche, ed infine,

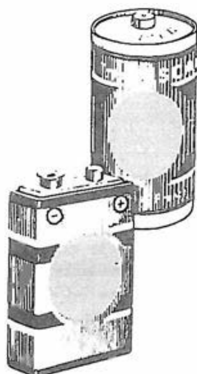
6) mediante l'effetto fotovoltaico col quale si produce una tensione quando dei raggi luminosi colpiscono una speciale sostanza come ad esempio l'ossido di rame, o il selenio.

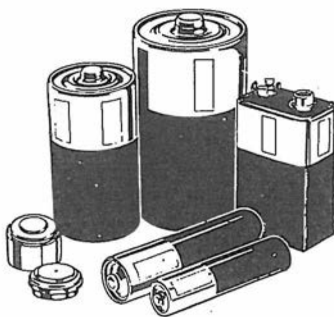
I primi due metodi permettono la realizzazione rispettivamente di batterie e di generatori; il terzo viene usato nella costruzione di generatori di elettricità statica ad alta tensione; il quarto viene utilizzato nei dispositivi detti «termocoppie» per la misura delle temperature; il quinto viene utilizzato per la produzione di microfoni a cristallo, di rivelatori fonografici, di accenditori per gas, ed il sesto negli apparecchi per la misura e l'utilizzazione dell'intensità luminosa («fotocellule»).

Esamineremo nelle pagine che seguono i sistemi, tra quelli citati, che maggiormente hanno attinenza alle applicazioni radio soffermandoci a lungo, in questa lezione, sul sistema chimico (cellule primarie e secondarie, ossia pile ed accumulatori). Il sistema meccanico sarà oggetto di più dettagliata esposizione in una prossima lezione.

Pile ed accumulatori hanno avuto rilevante importanza per il passato nella tecnica radio. Poiché gli apparecchi riceventi necessitano di una adeguata «alimentazione» di corrente in particolare per le loro valvole (vedremo più avanti come e perché), in mancanza di dispositivi diversi si è dovuto sempre ricorrere a tali fonti sintanto che non si è riusciti ad utilizzare in loro luogo — con reale praticità — la normale rete di energia elettrica distribuita per l'illuminazione.

Oggi pile ed accumulatori — dopo un lungo periodo di abbandono ai fini dell'utilizzazione in radio — sono ritornate in auge in conseguenza dell'applicazione sempre più estesa dei «transistori» e dei «circuiti integrati», nuovi organi sostitutivi delle valvole che, a differenza di queste, non necessitano di molta energia e rendono così vantaggioso e più pratico, sotto diversi punti di vista, l'uso di batterie le cui dimensioni, tra l'altro, hanno potuto essere notevolmente ridotte.





È per tali motivi che, come abbiamo già accennato, a tali componenti dedicheremo le pagine che seguono in quanto pile ed accumulatori — con logici sviluppi e perfezionamenti — sono tornati ad occupare un posto importante nella tecnica radio.

Cellule voltaiche

Quando due elementi dissimili — ad esempio il carbone e lo zinco (oppure il rame e lo zinco) — vengono immersi in una soluzione di acido solforico ed acqua, l'acido attacca lo zinco più rapidamente di quanto non faccia nei confronti del carbone, e tra i due elementi si verifica una differenza di potenziale.

Tale realizzazione costituisce «la cellula voltaica», il cui scopo è di convertire l'energia chimica in energia elettrica.

Gli elementi vengono definiti «elettrodi», e la soluzione acida prende il nome di «elettrolita».

Se gli elementi devono essere eliminati perché esauriti, al termine della loro durata, la cellula è detta **primaria** (le note «pile»).

Se gli elementi possono essere riportati alle loro condizioni originali con ricarica a mezzo di sorgente esterna di energia elettrica, essa viene denominata **secondaria** (gli «accumulatori»).

PILE

La cellula accennata sopra (carbone e zinco, ecc.) è del tipo primario.

Se si collega un conduttore esternamente agli elettrodi, gli elettroni scorrono dallo zinco (negativo) al carbone (positivo) attraverso il conduttore stesso, grazie alla differenza di potenziale, ritornando infine allo zinco attraverso la soluzione; dopo un certo periodo, l'elettrodo di zinco viene corroso a causa dell'azione corrosiva dell'acido.

Se l'elettrodo negativo è circondato da ossigeno, si ossida come un combustibile, e — sotto questo riguardo — la cellula si comporta un po' come una fornace chimica nella quale l'ener-

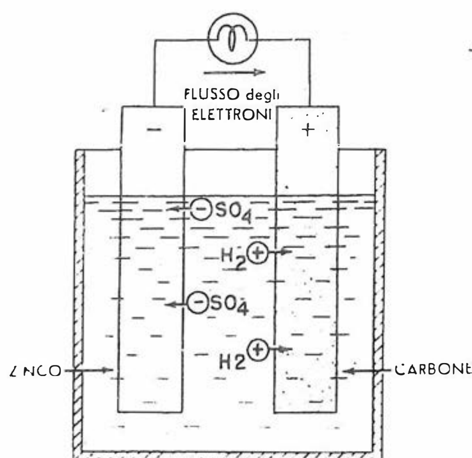


Fig. 31 C - Cellula primaria. Un elettrodo di zinco (—) ed uno di carbone (+) sono immersi in una soluzione di acido solforico e acqua. La corrente scorre esternamente dal — al + considerando il senso di movimento degli elettroni.

gia sviluppata dallo zinco si trasforma in energia elettrica invece che in calore.

La **figura 31 C** illustra un semplice esemplare di cellula primaria, la quale consiste di due elettrodi (carbone e zinco) e di un recipiente che contiene una soluzione di acido solforico (H_2SO_4) e di acqua (H_2O).

La tensione presente tra gli elettrodi è in relazione al materiale che li costituisce ed alla composizione della soluzione; la differenza di potenziale tra elettrodi di carbone e di zinco in una soluzione diluita di acido e acqua ammonta a circa 1,5 volt, e, nella maggior parte delle cellule primarie, la tensione prodotta non supera mai i 2 volt.

La corrente che può essere erogata da una pila primaria dipende dalla resistenza dell'intero circuito — compresa quella della pila stessa — la quale dipende a sua volta dalle dimensioni degli elettrodi, dalla loro distanza, nonché dalla resistenza della soluzione. Maggiore è la superficie degli elettrodi e minore è la distanza tra di loro (purché non si tocchino), minore è la resistenza interna, e maggiore la corrente che la pila può fornire all'eventuale carico.

Azione alla scarica

Quando la corrente scorre attraverso una cellulá, lo zinco viene gradatamente dissolto nella soluzione, per cui l'acido viene neutralizzato.

Quando una corrente scorre in una pila primaria avente elettrodi di carbone e di zinco ed una soluzione di acido solforico ed acqua, si produce una reazione chimica.

Non appena la corrente comincia a scorrere, una molecola di zinco si combina con una molecola di acido per formare una molecola di solfato di zinco ed una molecola di idrogeno.

Il solfato di zinco si dissolve nella soluzione, mentre l'idrogeno si sviluppa sotto forma di bolle gassose attorno all'elettrodo di carbone, e se la corrente continua a scorrere, l'elettrodo di zinco viene gradatamente consumato mentre la soluzione si trasforma in un'altra soluzione costituita da solfato di zinco ed acqua.

L'elettrodo di carbone non prende parte alla reazione chimica che si verifica, bensì si limita a costituire un mezzo di passaggio per la corrente stessa.

Durante il processo di ossidazione dello zinco, la soluzione si divide in ioni positivi e negativi i quali si muovono in direzioni opposte (vedi figura 31 C).

Gli ioni positivi sono di idrogeno e appaiono in prossimità dell'elettrodo di carbone (positivo); essi vengono portati a tale elettrodo in quanto attratti dagli elettroni liberi dello zinco che ritornano alla cellula tramite il carico esterno e il terminale dell'elettrodo positivo in questione.

Gli ioni negativi sono di solfato di zinco ed appaiono in prossimità dell'elettrodo negativo di zinco.

Gli ioni positivi di zinco entrano a far parte della soluzione intorno all'elettrodo di zinco.

Contemporaneamente al movimento in direzioni opposte degli ioni positivi e negativi in soluzione, gli elettroni si spostano verso il circuito esterno partendo dal terminale negativo di zinco e raggiungendo il terminale positivo di carbone attraverso il carico.

Quando lo zinco è esaurito, la tensione della pila si riduce a zero, e la differenza di potenziale presente tra il carbone ed il solfato di zinco in una soluzione di quest'ultimo in acqua, non è apprezzabile.

Polarizzazione

L'azione chimica che si verifica nella pila (figura 31 C) mentre la corrente scorre, provoca delle bolle di idrogeno le quali si formano in gran numero sulla superficie dell'elettrodo positivo di carbone finché questo ne è completamente ricoperto.

Tale azione si chiama «polarizzazione». Alcune di queste bolle salgono alla superficie e si liberano nell'aria, tuttavia, molte di esse restano sull'elettrodo finché non rimane spazio sufficiente affinché se ne formino altre.

L'idrogeno tende a provocare una forza elettromotrice in senso opposto a quello della pila, aumentando la resistenza interna effettiva e riducendo quindi la corrente d'uscita e perciò anche la tensione.

Una pila considerevolmente polarizzata non ha praticamente corrente di uscita.

Una realizzazione commerciale di questo tipo di pila — nota sotto il nome di «pila a secco» — impiega una sostanza ricca di ossigeno come parte dell'elettrodo positivo di carbone, la quale si combina chimicamente con l'idrogeno per formare acqua. Uno dei migliori depolarizzanti usati è il biossido di manganese (MnO_2) che fornisce ossigeno libero in quantità sufficiente affinché si combini con l'idrogeno presente, in modo che la pila sia praticamente esente da polarizzazione.

Tipi di pile

Vi sono due tipi di pile primarie: le prime citate, ossia le «pile a liquido» e quelle di cui abbiamo testé detto, cioè le «pile a secco».

Sebbene in passato ne siano state usate molte del primo tipo, esse sono oggi in disuso grazie ai maggiori vantaggi delle seconde.

Pila zinco-carbone — La pila a secco (chiamata anche pila Leclanchè) non deve intendersi a secco nel senso che non contiene soluzione, bensì viene così definita in quanto è fabbricata in modo tale che la soluzione non possa essere dispersa.

L'elettrolita esiste infatti sotto forma di una pasta, e la pila è sigillata in modo che il liquido contenuto non possa uscire. La **figura 32 C** illustra in sezione un tipo comune di pila a secco. Il contenitore è normalmente di zinco e funge da elettrodo negativo: esso è ricoperto internamente da uno strato di carta assorbente che impedisce il contatto con l'elettrodo positivo il quale è costituito da un bastoncino di carbone posto in centro rispetto all'intera pila.

L'elettrodo positivo è circondato da una pasta formata da carbone, biossido di manganese, cloruro di ammonio e cloruro di zinco con la quale è a diretto contatto. Detto impasto viene inumidito mediante acqua, e se questa evapora, la pila diventa inattiva.

La forza elettromotrice di questo tipo di pila dipende dal materiale usato ed ammonta a circa 1,5 volt, indipendentemente dalle dimensioni, per cui la più piccola di esse dà, a circuito aperto, la medesima tensione della più grande.

Le batterie a secco sono adatte in prevalenza per usi discontinui, come ad esempio per lampadine tascabili, apparecchi portatili di prova, radio trasmettitori portatili, e piccoli motori a corrente continua. Se invece, viene richiesta una notevole corrente ininterrotta, la pila si polarizza e la tensione cade in maniera tale che essa risulta presto completamente scarica. Tuttavia, se la pila rimane inattiva un certo tempo, si depolarizza, e la tensione ritorna al suo valore normale.

Molti dispositivi elettrici necessitano di una

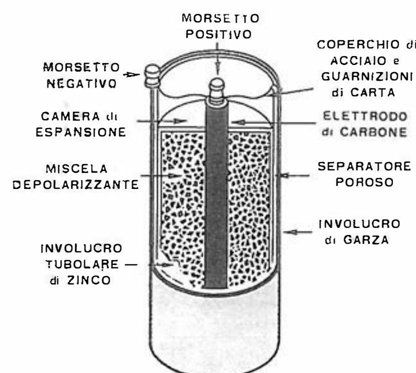


Fig. 32 C - Pila Leclanchè. L'elettrolita è una pasta densa che non si disperde capovolgendo l'elemento. La tensione è di 1,5 volt, e la corrente varia con la resistenza del carico e con le dimensioni della pila.

tensione o di una corrente maggiori di quelle che possono essere fornite da una sola pila, per cui è spesso necessario collegarne insieme un certo numero allo scopo di aumentare o la corrente, o la tensione, o entrambe. Un insieme di varie pile costituisce una **batteria**, ed il sistema col quale esse vengono collegate tra loro dipende dalle necessità, in quanto mentre il collegamento «in serie aumenta la tensione», il collegamento «in parallelo aumenta la corrente».

La **figura 33 C** mostra oltre a vari complessi costituiti da pile a secco collegate in serie, in parallelo ed in serie-parallelo, i vari simboli standard corrispondenti a tali collegamenti nonché esempi relativi alla tensione risultante, e quindi disponibile, in relazione ai diversi tipi di collegamento.

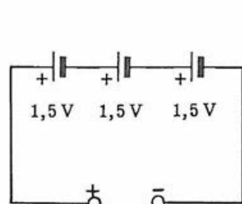
Per collegare «in serie» varie cellule e sommare le loro tensioni, è necessario che il «terminale positivo» di una di esse sia «collegato al terminale negativo della seguente», lasciando liberi il polo negativo della prima ed il polo positivo dell'ultima, come illustrato nel primo settore della figura. La tensione totale della batteria equivale alla «somma delle singole tensioni».

Alcune batterie sono costituite dalla combinazione di 15 di 30 e di 45 cellule in serie per avere rispettivamente delle tensioni di 22,5 e di 45, o di 67,5 volt.

«La corrente» di uscita di un complesso di batterie in serie «è eguale a quella di una sola cellula».

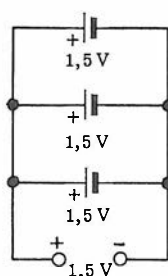
Le cellule possono anche essere collegate

Fig. 33 C - Le pile possono essere raggruppate in serie (A), in parallelo (B) o in serie-parallelo (C). In tal modo si aumenta rispettivamente la tensione, la corrente o entrambe.



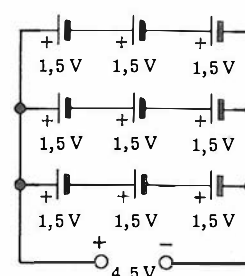
A

DISPOSIZIONE SERIE



B

DISPOSIZIONE PARALLELO



C

DISPOSIZIONE SERIE PARALLELO

«in parallelo», collegando insieme e «tra loro» tutti «i poli negativi» e insieme e tra «loro tutti i poli positivi» onde avere un negativo ed un positivo unici, come è illustrato nel secondo settore. In questo caso, mentre «la corrente totale equivale alla somma delle correnti» di ogni singola cellula, «la tensione» totale «equivale a quella di una sola cellula». Occorre far rilevare che secondo quest'ultimo collegamento è necessario che tutte le cellule abbiano la medesima tensione e la medesima resistenza interna, altrimenti quella avente maggior tensione e minore resistenza interna costringerebbe la corrente a passare attraverso quella di tensione inferiore che sopporterebbe tutto il carico.

Un altro metodo di utilizzazione di più pile consiste nel collegamento in serie-parallelo come è illustrato sempre in figura 33 C, nell'ultimo settore. Le pile di ogni gruppo sono collegate in serie tra loro, mentre i tre gruppi sono tra loro in parallelo. Tale sistema, nell'esempio citato, porta la tensione e la corrente al triplo di quella di una sola cellula.

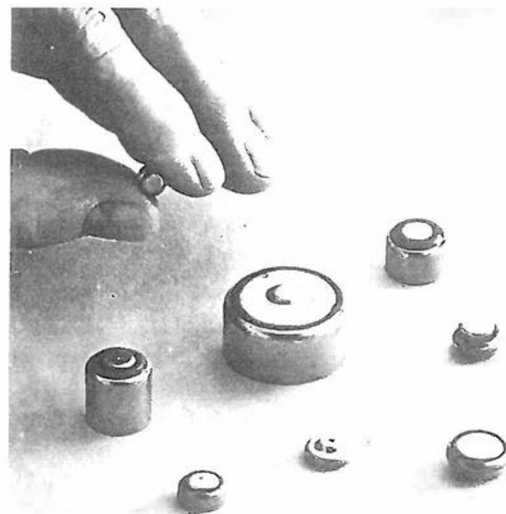
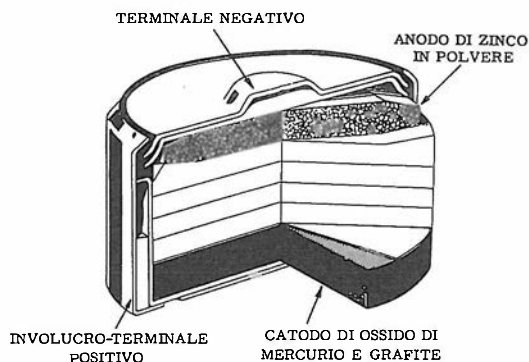


Fig. 34 C - Esempi di pila all'ossido di mercurio dette comunemente R M. Esse erogano circa 1,25 volt costanti fino alla scarica completa. Il disegno in basso illustra la sezione costruttiva di un modello tipico.



Pila al mercurio. L'involucro terminale è in acciaio. L'elettrodo negativo, a volte, invece che da polvere è formato da una spirale di alluminio in foglio ondulato, a molte spire. L'elettrodo di mercurio oltre che da elettrodo positivo funge da depolarizzatore.

Pila zinco-mercurio — Durante questi ultimi anni, la necessità di una pila a secco che sopportasse i climi tropicali e l'umidità, portò allo sviluppo della pila RM, detta anche pila «Ruben» e «Mercury».

Trattasi di una pila di fabbricazione più costosa del tipo precedente, ma presentante il vantaggio di produrre una corrente da quattro a sette volte superiore e di avere una tensione molto più costante. La pila RM si presenta sotto forma di un cilindro di diametro da 8 a 25 mm, con un'altezza dai 3 mm ai 15 mm (**figura 34 C**).

La corrente elettrica della pila zinco-mercurio si produce grazie ad una reazione chimica che avviene tra lo zinco e l'ossido di mercurio.

L'elettrodo positivo è un miscuglio di ossido di mercurio e di carbone contenuto in un recipiente di ferro, mentre l'elettrodo negativo è formato da un disco di zinco posto al centro del recipiente. L'elettrolita è costituito da una soluzione di idrossido di potassio.

La tensione a circuito aperto è di 1,34 volt, mentre col carico scende a valori compresi tra 1,31 e 1,24 volt e — sebbene la tensione sotto carico sia inferiore a quella della normale pila a secco di circa 0,2 volt — la pila RM mantiene la tensione praticamente costante durante tutta la sua durata. L'uso principale è riservato ai radio-trasmettitori portatili e ad altre piccole apparecchiature elettroniche (protesi auditive, fotografia, ecc.).

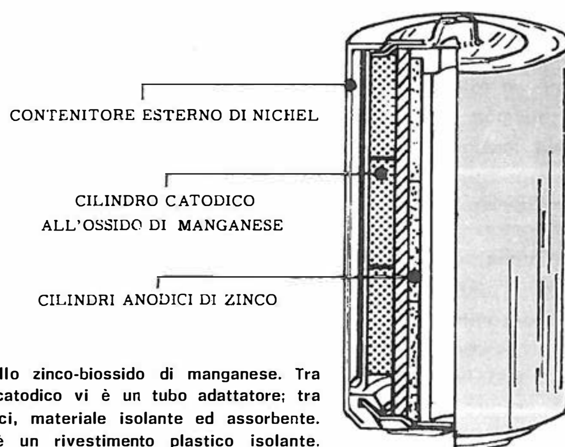
Pila zinco-biossido di manganese — La pila allo zinco-biossido di manganese, nota normalmente come pila alcalina, va assumendo sempre più rapidamente un posto importante nell'industria delle pile a secco per impieghi commerciali.

Gli elementi alcalini differiscono da quelli convenzionali allo zinco-carbone per la struttura degli elettrodi e per l'elettrolita che è, in questo caso, una soluzione di idrossido di potassio (KOH). Sia le pile alcaline che quelle allo zinco-carbone hanno gli elettrodi negativi di zinco e quelli positivi di biossido di manganese.

L'elemento alcalino fornisce a circuito aperto una tensione massima di 1,5 volt con una capacità abbastanza costante per una vasta serie di consumi. In generale si può osservare che per bassi consumi questo tipo di pila non presenta dei particolari vantaggi rispetto agli elementi allo zinco-carbone.

Per consumi piuttosto elevati (macchine da ripresa cinematografica, magnetofoni, ecc.) la pila al biossido di manganese presenta invece una efficienza sensibilmente superiore.

Queste pile hanno un buon rendimento anche a basse temperature e spesso possono anche essere ricaricate.



Sezione di un elemento tipico allo zinco-biossido di manganese. Tra contenitore di nichel e cilindro catodico vi è un tubo adattatore; tra cilindro catodico e cilindri anodici, materiale isolante ed assorbente. All'esterno, sul contenitore vi è un rivestimento plastico isolante.

Caratteristiche elettriche

Nei precedenti paragrafi abbiamo illustrato i principali tipi di pile, i procedimenti costruttivi e le rispettive composizioni chimiche. Esamineremo ora le caratteristiche elettriche, quali la tensione a vuoto, la capacità di erogazione, la tensione sotto carico e la resistenza interna. Tali caratteristiche sono determinate dal contenuto della pila, dalle sue dimensioni e da altri fattori secondari. Noti il lettore che la conoscenza delle caratteristiche fondamentali e delle limitazioni degli elementi a secco permetterà sempre di operare una efficace selezione a seconda degli impieghi specifici previsti.

Tensione. Come abbiamo precedentemente affermato il valore di tensione a circuito aperto di una batteria è determinato dalla sua composizione chimica. La tensione di un tipico elemento allo zinco-carbone, per esempio, può variare fra 1,5 ed 1,6 volt.

In ogni caso però abbiamo visto che si può ottenere qualsiasi valore di tensione collegando semplicemente due o più elementi in una disposizione parallelo, serie, e serie-parallelo.

Resistenza interna. Più significativa della tensione a circuito aperto è la tensione di esercizio, che è quella che si sviluppa agli elettrodi della pila quando ad essa viene connesso un carico. La tensione di esercizio è sempre minore di quella a vuoto, poiché una certa aliquota di tensione cade nella pila.

Questa differenza di tensione fra la pila a vuoto e la pila sotto carico è funzione della resistenza interna dell'elemento. Tale resistenza è sempre presente poiché i materiali che costituiscono la pila non possono in ogni caso essere dei conduttori perfetti. Va a questo punto osservato che la resistenza interna aumenta con l'uso, con il tempo di conservazione e con le diminuzioni di temperatura.

Abbiamo già osservato che la presenza di un carico produce un passaggio di corrente nel carico stesso e nella pila. L'aumentare della resistenza interna della pila porta quindi, come conseguenza, ad un aumento della caduta di tensione su tale resistenza. Quando questa caduta di tensione supera un certo valore, la pila diventa inutilizzabile.

Capacità. Si definisce capacità di una pila la prerogativa della medesima di mantenere il valore della tensione a vuoto anche nelle condizioni di pieno carico. La capacità è strettamente connessa al valore resistivo del carico, alla tensione finale di scarica, alle dimensioni della pila, al tempo di conservazione, ed alle temperature di funzionamento e di magazzinaggio.

* * *

a) Tipo di carico. In generale si definisce carico il componente, il circuito, o l'apparecchio utilizzatore al quale la pila o la batteria di pile devono fornire potenza. Una pila avrà una vita assai breve se le viene richiesta una potenza superiore a quella che essa può fornire.

b) Tensione finale di scarica. La tensione finale di scarica è quel valore di tensione di esercizio sotto il quale la pila non funziona più. Per un elemento allo zinco-carbone, che ha una tensione a vuoto di circa 1,5 volt, questo valore critico si aggira fra 1,1 e 0,75 volt.

c) Dimensioni della pila. Le dimensioni ed il volume di ogni elemento di una pila sono determinanti ai fini della capacità. Per elementi che hanno la medesima composizione chimica, quanto maggiori sono le dimensioni degli stessi, tanto più grande è la capacità.

d) Periodo di conservazione. Con questo termine definiamo il tempo per il quale la batteria o la pila singola può essere conservata a temperatura ambiente, senza perdere più del 10% della sua capacità originale.

Tutti i tipi di pile a secco si deteriorano nel tempo, perdendo di capacità, anche se non vengone impiegate (azione locale).

e) Temperatura di funzionamento e di magazzinaggio. Costituisce uno dei fattori più importanti che influenzano la capacità della pila. Alle basse temperature per esempio, le pile al litio sono più efficienti di quelle allo zinco-carbone. Alle temperature relativamente alte invece sono gli elementi al mercurio che hanno un comportamento migliore.

ACCUMULATORI

Come è stato detto precedentemente, si intende, per cellula secondaria, quella i cui elementi possono essere riportati allo stato iniziale mediante ricarica a mezzo di energia elettrica per cui, quando la corrente di carica scorre attraverso detta pila in senso opposto a quello di scarica, sia la soluzione che gli elettrodi ritornano alle condizioni originali.

La cellula secondaria viene usata sotto forma di batteria (due o più cellule collegate tra loro), nelle automobili, nelle motobarche, negli aeroplani, nei sottomarini ed in generale su qualsiasi unità mobile dotata di impianto elettrico; queste batterie sono note sotto il nome generico di **accumulatori elettrici.**

Oggigiorno vi sono due tipi di accumulatori: 1) il tipo a piombo e 2) il tipo al ferro-nichel in soluzione alcalina (Edison) oppure al nichel-cadmio sempre in soluzione alcalina. La **figura 35 C** illustra un tipo di accumulatore al piombo anche in veduta sezionata.

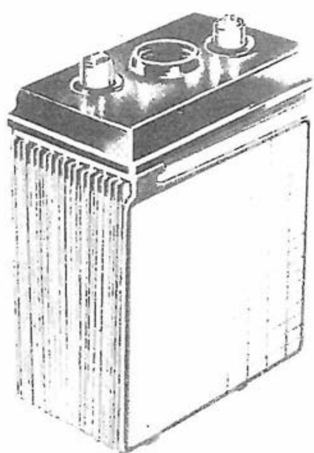


Fig. 35 C - Accumulatore al piombo in custodia di vetro. Fornisce 2 volt e, assai spesso, viene usato assieme ad altri esemplari identici per ottenere maggior tensione (in serie) o maggiore capacità (in parallelo). Si scorge una delle piastre negative.

Azione chimica

La natura delle reazioni chimiche che si verificano in un accumulatore al piombo è piuttosto elaborata, ma la seguente, breve descrizione. sarà sufficiente per dare una idea del ciclo che si manifesta durante la carica e durante la scarica.

Quando una cellula è completamente carica (**figura 36 C**) il materiale attivo della piastra positiva è costituito da perossido di piombo, PbO_2, e quello della piastra negativa da piombo puro spugnoso, Pb.

Il peso specifico dell'elettrolita (ossia il suo peso relativo nei confronti di un eguale volume di acqua) è al suo valore massimo. In tali condizioni l'energia chimica viene, per così dire, immagazzinata. La tensione a circuito aperto (ossia in assenza di carico e quindi di assorbimento) è leggermente superiore a 2 volt.

Se tra il polo positivo e quello negativo si chiude un circuito esterno, a causa dell'azione chimica dell'elettrolita sul materiale attivo si ha un passaggio di corrente, per cui l'energia chimica viene trasformata in energia elettrica. In questo caso si dice che la batteria è sotto scarica (seconda **figura 36 C**). L'elettrolita reagisce col piombo della piastra negativa e col perossido di piombo della piastra positiva, per formare su entrambe del solfato di piombo.

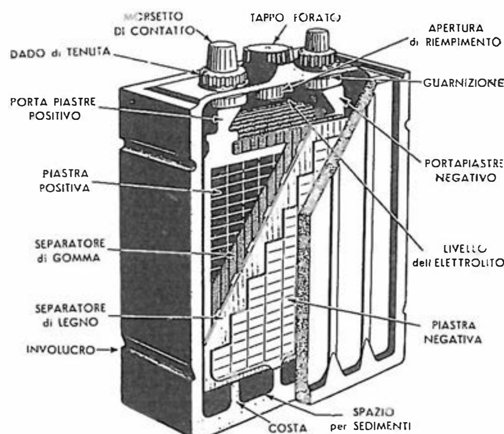


Fig. 35 C - Accumulatore al piombo in custodia di materiale plastico; disegno sezionato che illustra l'ubicazione di tutti gli elementi componenti. Le piastre sono del tipo oggi maggiormente usato e cioè a pastiglia.

Allo stato di carica la piastra positiva contiene perossido di piombo PbO_2. La piastra negativa è costituita da piombo spugnoso Pb, e la soluzione contiene acido solforico H_2SO_4.

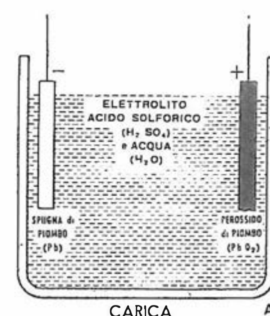
Allo stato di scarica entrambe le piastre contengono solfato di piombo, $PbSO_4$, e la soluzione contiene solo acqua, H_2O. Infatti, durante il processo graduale di scarica, il contenuto acido dell'elettrolita diminuisce progressivamente in quanto si esaurisce per la produzione di solfato di piombo; il peso specifico della soluzione diminuisce, fino al momento in cui la quantità di materiale attivo trasformata in solfato di piombo è tale che la cellula non può più produrre una corrente apprezzabile per impieghi pratici. A questo punto si dice che la cellula è scarica (terza **figura 36 C**).

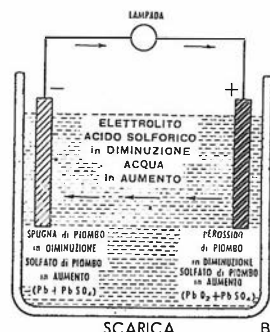
Poiché la quantità di acido solforico che si combina con le piastre in ogni istante del tempo di scarica è in diretta proporzione agli ampèrora (ossia al prodotto tra la corrente in ampère ed il tempo in ore) di scarica, il peso specifico dell'elettrolita costituisce una buona guida per la determinazione dello stato di carica dell'accumulatore.

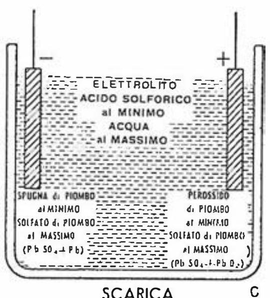
Se la cellula scarica viene correttamente collegata ad una sorgente di corrente continua di carica — la cui tensione sia leggermente più alta di quella della cellula stessa — la corrente scorre in senso opposto a quello della corrente di scarica, ed in questo caso si dice che la cellula è sotto carica (quarta **figura 36 C**). L'effetto di tale corrente consiste nel ritrasformare nelle rispettive condizioni originali — di perossido di piombo e di piombo spugnoso — il solfato di piombo presente su entrambe le piastre. Contemporaneamente, l'acido viene restituito alla soluzione elettrolitica con conseguente aumento del peso specifico di quest'ultima, e, quando la reazione dovuta alla ricarica ha raggiunto l'apice, detto peso specifico ha il suo valore massimo: la cellula è completamente carica e pronta perciò per essere riutilizzata, ossia scaricata di nuovo.

È necessario ricordare sempre che l'aggiunta di acido solforico ad un accumulatore scarico non lo ricarica, bensì aumenta semplicemente il peso specifico dell'elettrolita senza convertire il solfato di piombo presente sulle piastre in materiale attivo (piombo spugnoso e perossido di piombo) e senza quindi riportare la cellula alle condizioni di carica, per ottenere la quale è necessario, come si è detto, un passaggio di corrente in senso opposto.

Quando la carica di un accumulatore sta per essere completata, l'idrogeno, H_2, e l'ossigeno, O_2, si sviluppano sotto forma di gas liberi, rispettivamente in prossimità dell'elettrodo negativo e di quello positivo; ciò si verifica in quan-







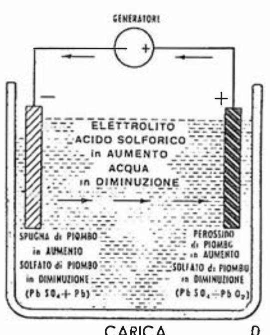


Fig. 36 C - Quattro fasi successive dell'attività di una cellula secondaria (Accumulatore). Si notino le varie reazioni chimiche durante la scarica e la ricarica e la direzione della corrente all'esterno ed all'interno.

to la corrente di carica è maggiore di quella necessaria per ridurre il piccolo quantitativo di solfato di piombo ancora presente sulle piastre, per cui l'eccesso di corrente ionizza l'acqua della soluzione.

Tale fenomeno testimonia che la carica dell'accumulatore è stata effettuata in modo completo e definitivo.

Piastre a pastiglia

I primi accumulatori al piombo venivano realizzati con piastre a piombo spugnoso (Planté). Ora si adottano piastre di tipo più leggero, a pastiglia (vedi **figura 37 C**).

Si applicano speciali pastiglie di ossido di piombo ad una griglia realizzata con una lega di piombo e antimonio, il cui compito è solo quello di alloggiare il materiale attivo — che ne riempie gli spazi liberi — e di distribuire uniformemente la corrente su tutta la superficie.

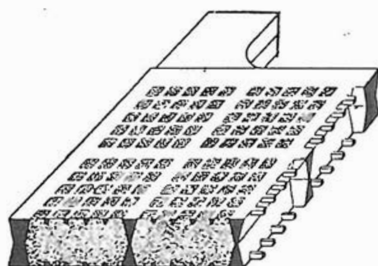


Fig. 37 C - Le piastre di piombo degli accumulatori furono in un primo tempo di piombo spugnoso; successivamente si adottò la piastra a pastiglia come quella qui rappresentata, che è più leggera a parità di risultati.

Quando le pastiglie sono asciutte, si dà alle piastre una carica di formazione. La si esegue immergendole nella soluzione elettrolitica e facendole attraversare da una corrente in direzione appropriata, in modo tale che si trasformino in perossido di piombo sulla piastra positiva ed in piombo spugnoso sulla piastra negativa. Questi tipi di piastre richiedono minor tempo per la loro produzione; il loro peso è inferiore in confronto a quelle del tipo Planté, ma queste ultime sono però più robuste e di maggior durata.

Elementi a cellule

Le piastre possono essere raggruppate in gruppi positivi e negativi, e quando tali gruppi vengono riuniti in un unico accumulatore esso prende il nome di «elemento a cellule» o batteria di accumulatori (**figura 38 C**).

Il numero delle piastre negative è sempre superiore di uno a quello delle piastre positive, di modo che entrambi i lati di ogni piastra positiva prendono parte alla reazione chimica. Sulle piastre positive, il materiale attivo si espande e si contrae rispettivamente quando la batteria viene caricata o scaricata, e sia l'espansione che la contrazione devono essere mantenute eguali su entrambi i lati per evitare che la piastra si fletta.

Il recipiente non può essere di metallo a causa dell'acidità dell'elettrolita; ogni cellula è contenuta in uno scompartimento impermeabile



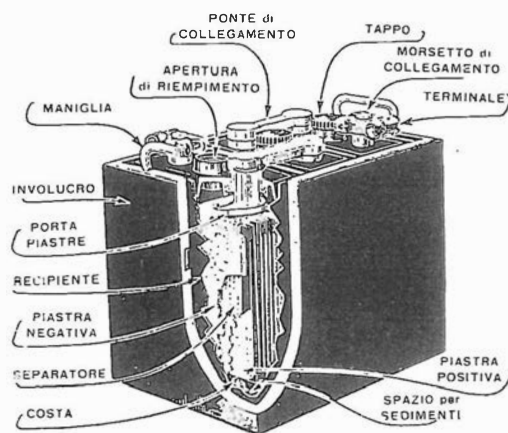


Fig. 38 C - Riunendo nella stessa custodia più accumulatori (elementi) si ha la classica « batteria ». Questa rappresentata è a tre elementi e quindi fornisce 6 volt. È molto nota quella usata nelle automobili (6 elementi = 12 volt).

e limitato da separatori, inattaccabili dall'acido. Le cellule sono collegate in serie mediante sbarrette in lega di piombo, unite ai terminali delle cellule adiacenti mediante saldatura con piombo fuso.

Ogni cellula di una batteria viene riempita di elettrolita consistente di acido solforico concentrato e di acqua distillata: esso conduce la corrente elettrica tra il polo positivo e quello negativo internamente alla batteria, e reagisce chimicamente col materiale attivo delle piastre così come abbiamo dettagliatamente esposto.

Accumulatori al ferro - nichel

Questo tipo, detto cellula Edison, è formato da elettrodi positivi di ossido di nichel espanso e da elettrodi negativi di polvere di ferro pressata, mentre la soluzione elettrolitica è a base di idrossido di potassio.

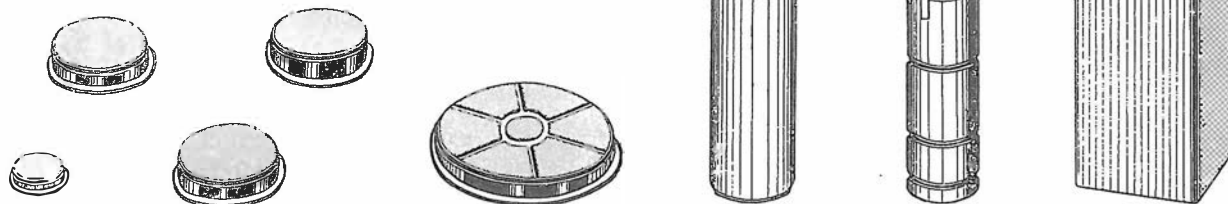
Tale tipo di accumulatore ha una capacità in chilovattora per chilo del suo peso, maggiore del tipo a piombo, e può restare per un tempo illimitato sia in stato di carica che di scarica, senza subire avarie. Per contro però, si ha evaporazione durante la scarica, e la tensione di ogni elemento che è di 1,2 volt sotto carico, è solo pressappoco la metà di quella del tipo a piombo. L'accumulatore al ferro-nichel ha inoltre una resistenza interna più elevata, la quale aumenta col diminuire della temperatura.

Accumulatori al nichel - cadmio

Si tratta di un tipo sviluppato e perfezionato in questi ultimi anni per l'utilizzazione sugli aerei e in tutte le contingenze nelle quali si richieda una riduzione di peso; essendo basato su reazioni eminentemente alcaline, rimedia alla maggior parte degli svantaggi del tipo Edison.

Esso consta di venti unità, collegate in serie in modo da fornire una tensione di 24 volt, contenute in un involucro di acciaio inossidabile. L'elettrolita si presenta più come una pasta che come un liquido, ed ogni elemento è chiuso ermeticamente. Una volta sigillati, questi accumulatori non necessitano più di alcuna manutenzione, come ad esempio aggiunta di acqua distillata o verifica del peso specifico della

Fig. 39 C - Accumulatori al nichel-cadmio nelle più comuni forme di esecuzione: a bottone, cilindrici, rettangolari. I primi sono formati da un guscio in lamierino nichelato (polo positivo) e da un coperchietto, anch'esso in lamiera (polo negativo). Gli elettrodi sono masse di ossidi e di idrossidi di nichel e di cadmio, compressi. La custodia degli altri tipi è in acciaio nichelato. Tutti sono completamente stagni e non richiedono manutenzione.



soluzione. La corrente erogata è eguale a quella del tipo a piombo ed acido, con la differenza che l'autonomia è circa doppia.

Capacità

Come abbiamo detto precedentemente, la capacità di una batteria viene espressa in ampère/ora (Ah), che equivalgono al prodotto tra la corrente in ampère ed il tempo in ore durante il quale detta corrente può essere erogata. Tale capacità varia in proporzione inversa rispetto alla corrente di scarica.

Le dimensioni di un accumulatore vengono determinate generalmente dalla sua capacità, che, a sua volta, dipende da molti fattori, i più importanti tra i quali sono:

1) la superficie delle piastre in diretto contatto con la soluzione elettrolitica,

2) la quantità ed il peso specifico di quest'ultima,

3) il tipo dei distanziatori o separatori,

4) le condizioni generali della batteria (grado di solfatazione, foratura delle piastre, corrosione dei separatori, sedimenti sul fondo, ecc.) ed infine

5) la tensione finale limite.

Altri sistemi di produzione della corrente

Per effetto elettrostatico

La ragione per la quale l'energia elettrica può essere prodotta mediante lo sfruttamento dei princìpi dell'elettrostatica può essere compresa risalendo alla struttura atomica della materia: già sappiamo — ed è facile constatarlo — che l'ebanite, il vetro e diverse altre sostanze analoghe, si elettrizzano in seguito ad un attrito con sostanze diverse, assumendo cariche elettriche opposte rispetto ad esse.

Le indagini sperimentali hanno dimostrato ad esempio che, da parte della seta, vengono asportati elettroni da altri corpi, in seguito a sfregamento; così, un corpo di vetro resta privo di una parte di elettroni allorché subisce un attrito con detto materiale. In questo caso il vetro assume un potenziale positivo; è quanto già abbiamo visto a pagina 9 C e seguenti.

Allorché un corpo di vetro o di ebanite subisce un attrito contro un panno di lana o di seta, si elettrizza al punto tale da esercitare una forza di attrazione nei confronti della carta o di altri corpi analoghi (vedi figura 11 C); alcune nuove sostanze plastiche (ad esempio: l'astralon) denotano una particolare attitudine ad esercitare in simili condizioni questa forza di attrazione. Ciò dimostra che l'attrito tra detti corpi, opportunamente scelti, se sfruttato ed applicato in maniera razionale, può tornare utile per la produzione di una forma di energia elettrica detta appunto «elettrostatica».

Nello sfruttamento pratico dell'elettricità statica come tale sono però assai poco usate le macchine che la producono in tal modo (per attrito) perché esse riescono sì a fornire un potenziale molto elevato, ma con bassissima corrente; ciò significa, in ultima analisi, che l'energia disponibile è poca e non adatta agli impieghi correnti.

Viene tuttavia spesso sfruttato l'effetto elettrostatico, ossia l'attrazione che il potenziale provoca, ai fini di un trasferimento di sostanze leggere da un punto ad un altro. Casi del genere si riscontrano nella verniciatura elettrostatica, nella raccolta di pulviscolo o fumo, nella stampa xerografica, ecc. ove l'azione è realizzata appunto applicando una tensione molto alta tra la parte interessata a ricevere la sostanza e la sostanza stessa o un elemento nel quale è raccolta, o dal quale proviene.

L'alta tensione in gioco viene ottenuta, come

si è accennato, con mezzi diversi dalla macchina generatrice per effetto elettrostatico, in quanto tali mezzi si rivelano più idonei e più pratici.

Accenneremo tuttavia, a scopo di informazione, alla esistenza di veri e propri generatori elettrostatici realizzati quasi sempre però per scopi illustrativi didattici (scuole, gabinetti di fisica, ecc.). Tali macchine, a mezzo di ingranaggi rapportatori o altre trasmissioni meccaniche (quasi sempre azionate a mano), mettono in rotazione un disco (o un nastro) costruito con uno dei materiali più idonei al fine della produzione di elettricità per sfregamento. L'attrito avviene durante la rotazione nei confronti di parti fisse realizzate con il materiale opposto.

L'elettricità così ottenuta viene trasferita e raccolta, accumulandosi progressivamente in un condensatore sino a tanto che, per eccesso, ha luogo una scarica tra i due elettrodi (al limite di isolamento dell'aria che li separa).

In tal modo è possibile ottenere tensioni dell'ordine dei 300 000 volt e oltre, con correnti da 8 a 10 microA (milionesimi di ampère). La produzione di intensi campi elettrici per via elettrostatica vien anche sfruttata a scopi scientifici per l'accelerazione di particelle nucleari.

Per effetto termo - elettrico

Quando due metalli differenti vengono uniti insieme, se si scalda il punto di contatto tra loro, si produce una f.e.m. (forza elettromotrice): tale combinazione di metalli si chiama termocoppia.

Il principio termoelettrico trova impiego, tra l'altro, nei misuratori di corrente (amperometri) a termocoppia, i quali misurano l'uscita a radiofrequenza di un trasmettitore. L'amperometro, o strumento misuratore vero e proprio, è azionato dalla f.e.m. generata dalla termocoppia, la quale a sua volta viene riscaldata dalla corrente a radiofrequenza da misurare (**figura 40 C**).

I più recenti sviluppi hanno rivalutato questo sistema di produzione di energia elettrica, noto da molto tempo (Seebeck - 1821) ma finora, ai fini di una vera e propria utilizzazione pratica (tranne l'uso della termocoppia per misure, di cui si è detto), mai sfruttato.

Il merito del nuovo interesse che si verifica nei riguardi di questo sistema, va attribuito ai semiconduttori (sostanze, come sappiamo, dalle caratteristiche di conducibilità medie, tra i conduttori e gli isolanti) che, impiegati in luogo della coppia di metalli differenti, offrono un rendimento di una diecina di volte superiore.

Scaldando pertanto un'estremità di un semiconduttore, si sviluppa una corrente elettrica: in alcuni tipi la parte rimasta fredda risulta negativa (in contrapposto all'estremità calda che è positiva), in altri positiva.

La direzione della corrente generantesi è, naturalmente, sempre dall'estremo positivo a quello negativo (come in una pila) per tutti e due i tipi. Ora, se si prendono due semiconduttori di tipo opposto («n» e «p») e si congiungono le loro estremità calde (**figura 41 C**), la corrente prodotta dal tipo « p » scorrerà dall'estremità fredda verso quella calda e il contrario si verificherà per il tipo « n »: se le due estremità libere saranno collegate ai capi da un circuito utilizzatore (ad esempio, una lampadina) attraverso tutto il circuito, compreso perciò il dispositiva elettrico da alimentare, scorrerà la corrente sino a tanto che si provvederà a mantenere caldo il punto di giunzione.

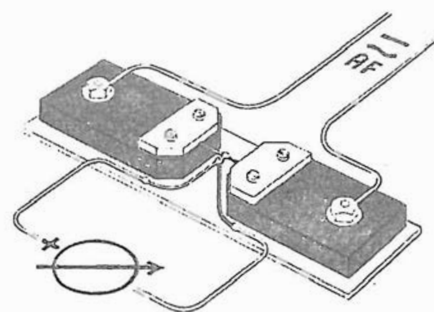


Fig. 40 C - Elettricità per effetto termoelettrico: termocoppia. Quella illustrata serve alla misura della corrente ad A.F. Questa viene fatta passare in un conduttore la cui temperatura aumenta in proporzione all'intensità della corrente stessa. L'aumento di temperatura si trasmette alla coppia bimetallica provocando da parte di quest'ultima la produzione di una corrente secondaria che può essere misurata da uno strumento di tipo normale.

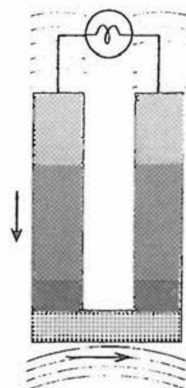
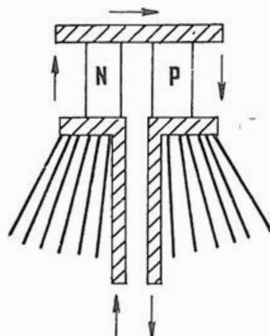


Fig. 41 C - Elemento termoelettrico a semiconduttore. Funziona secondo un principio analogo a quello della termocoppia, ma ha una sensibilità circa dieci volte maggiore. La corrente si produce in seguito all'aumento di temperatura apportato alle estremità di due semiconduttori di tipo opposto: l'effetto è reversibile.



Dispositivo analogo a quello di cui sopra nella funzione di refrigeratore. Con corrente passante nel senso indicato le estremità superiori (e quindi la piastra metallica posta sopra) diventano più fredde e quelle inferiori più calde: alette di raffreddamento disperdono il calore.

La tensione a disposizione è solo di qualche decimo di volt, però, unendo più coppie del genere, si possono ottenere anche centinaia di volt.

Il rendimento raggiunto sinora è del 10% circa, ma si ritiene di poterlo accrescere. In molte applicazioni l'uso di tali generatori è già pienamente giustificato; ad esempio, negli Stati Uniti si costruisce un tipo capace di erogare 100 watt. Il suo peso è di soli 19 kg: viene normalmente alimentato da una bombola di metano ma può essere alimentato anche da altri combustibili.

Futuri sviluppi in questo campo si avranno nello sfruttamento del calore solare.

È interessante rilevare in tale sistema l'assenza di organi in movimento: è il calore che viene convertito direttamente in corrente. Per inciso, diremo che si può sfruttare anche il principio opposto, mediante il quale, applicando corrente si può ottenere un notevole abbassamento di temperatura: frigoriferi statici («Batterie Peltier»).

In questo caso, un assieme formato così come si è detto, da due semiconduttori di tipo contrario e cioè uno « N » e l'altro « P » se invece di ricevere calore (e generare corrente) riceve corrente, provoca raffreddamento, sempre che la corrente sia fatta circolare nel dovuto senso e cioè come è indicato nella figura qui a fianco. Se la corrente viene fatta circolare nel senso contrario si genera calore.

Abbiamo dunque un dispositivo che può essere usato per refrigerare oppure per riscaldare, semplicemente invertendo il senso della corrente continua immessa. Nella prima applicazione si rivela la grande semplicità e l'assenza di parti in movimento rispetto ai comuni frigoriferi a compressore.

Per effetto piezo-elettrico

Alcuni cristalli sviluppano cariche elettriche tra le loro superfici allorché vengono assoggettati a pressioni o a tensioni meccaniche: tale fenomeno prende il nome di effetto piezoelettrico.

Le cariche elettriche sviluppate sono proporzionali all'intensità della forza applicata al cristallo, e la polarità si inverte con l'alternarsi della pressione e della tensione. Tale effetto è anche reversibile, ossia, se si applica una carica a due armature metalliche tra le quali si trova un cristallo, si ha un movimento meccanico, e se si applica una tensione che inverta periodicamente la sua polarità, il cristallo vibra.

L'effetto piezoelettrico viene usato — vedremo poi in dettaglio — per i microfoni a cristallo e per i trasduttori o rivelatori («pick-up»); grazie alla reversibilità, si può trasformare la pressione in carica elettrica (come nei microfoni e nei «pick-up»), o la carica elettrica in pressione (come nelle cuffie piezoelettriche).

La quantità di energia prodotta è in relazione alle caratteristiche intrinseche del cristallo, nonché all'intensità delle sollecitazioni meccaniche alle quali esso è sottoposto. I tipi più comuni di cristalli usati a questo scopo sono il quarzo, i sali di Rochelle, e la tormalina. Allorché queste sostanze vengono tagliate in maniera appropriata esse denotano la proprietà sopra enunciata.

La forma del cristallo varia a seconda dell'uso che si intende farne. La tecnica del taglio determina a sua volta le caratteristiche di funzionamento nonché la polarità relativa della tensione prodotta: in altre parole, a seconda del taglio, uno dei lati può assumere un potenziale positivo mentre l'altro assume un potenziale negativo allorché il cristallo viene sottoposto ad una pressione, o viceversa.

Alcuni cristalli vengono tagliati con forme geometriche tali da permettere la produzione di tensioni a causa di una flessione in un determinato senso invece che di una pressione.

Il taglio può essere effettuato con diversi angoli rispetto all'asse X, Y o Z, ossia rispetto alle tre dimensioni convenzionali e precisamente orizzontale, verticale e di profondità. La **figura 42 C** chiarisce meglio questo concetto in quanto illustra come da un cristallo avente una forma di prisma esagonale, possono essere ricavati dei cristalli effettuando il taglio nelle tre direzioni indicate.

Lo scopo dei vari tipi di taglio consiste nella necessità di rendere il cristallo ricavato il più possibile indifferente alle variazioni della temperatura ambiente, le quali tendono a variare le caratteristiche della tensione prodotta. Il coefficiente di temperatura è infatti determinato dal tipo di taglio.

Il taglio lungo l'asse « X » ha un coefficiente di temperatura negativo, mentre il taglio nel senso dell'asse « Y » ha un coefficiente positivo: esiste un ulteriore tipo di taglio indicato con le lettere « AT » nella figura, il cui coefficiente di temperatura è praticamente zero.

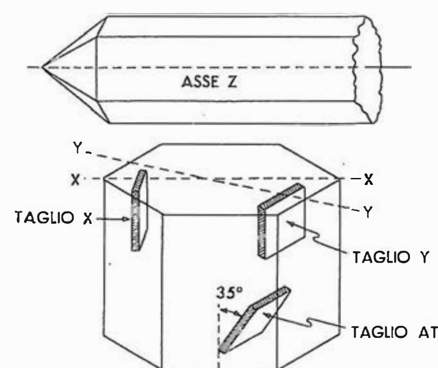


Fig. 42 C - Rappresentazione dei tre sistemi principali di taglio di un cristallo piezoelettrico. L'asse AT offre la minore sensibilità a variazioni di temperatura.

La quantità di corrente che può normalmente passare attraverso un cristallo piezoelettrico va da 50 a 200 milliampère, e, allorché l'intensità massima viene superata, le vibrazioni del cristallo raggiungono un'ampiezza tale che esso si rompe. Ciò accade naturalmente allorché il cristallo viene usato in senso passivo, ossia per produrre una energia meccanica in seguito alla applicazione di una tensione.

Dal punto di vista da noi ora considerato — e cioè da quello della produzione di energia elettrica — è importante rilevare che, se l'energia aumenta con l'aumentare della sollecitazione meccanica, essa non deve però superare l'intensità massima che il cristallo può sopportare onde non raggiungere il cosiddetto «carico di rottura». Ne consegue che anche la quantità di energia prodotta è in relazione alle caratteristiche del cristallo.

Per effetto foto-elettrico

Una fotocellula consiste di un supporto metallico sul quale è stato depositato uno strato di materiale fotosensibile. Sulla parte superiore di detto strato, si deposita un secondo strato di metallo, tanto sottile da permettere il passaggio della luce in modo che raggiunga il materiale sensibile. La basetta metallica costituisce un elettrodo, e lo strato trasparente costituisce il secondo. Quando la luce colpisce la cellula, si produce una f.e.m. e, se agli elettrodi viene collegato un carico, si ha un passaggio di corrente.

La cellula fotoelettrica si comporta quindi come un piccolo generatore che produce ai suoi capi una f.e.m. proporzionale alla intensità della luce che la colpisce. Questo principio viene utilizzato negli esposimetri (misuratori della luce) usati dai fotografi.

Esiste un altro tipo di cellula fotoelettrica costituita da un'ampolla di vetro la cui superficie

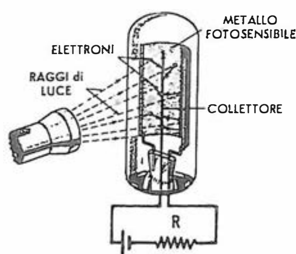
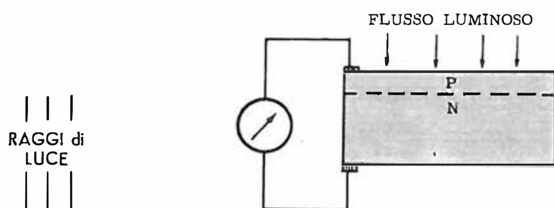


Fig. 43 C - Fotocellula a vuoto. Uno strato di materiale fotosensibile emette elettroni (se colpito dalla luce), raccolti da un altro elettrodo (collettore). Gli elettrodi sono uniti al — ed al + di una fonte di energia, in serie ad una resistenza di carico ai capi della quale può essere prelevato il segnale utile di uscita.

interna è ricoperta da uno strato fotosensibile. Gli elettroni possono essere raccolti da un elemento metallico posto internamente al bulbo e polarizzato con un potenziale positivo, per cui, come illustrato nella **figura 43 C**, ai capi della resistenza « R » è possibile prelevare una differenza di potenziale determinata dalla caduta di tensione prodotta a sua volta dalla corrente di elettroni emessi a causa della luce.

La tecnica moderna ha ulteriormente perfezionato il sistema fotoelettrico di produzione dell'energia elettrica. Viene ora sfruttata l'energia luminosa del sole mediante la realizzazione delle cosiddette cellule solari (**figura 44 C**); esse convertono la notevole intensità della luce solare — concentrata mediante sistemi ottici — in correnti elettriche che possono raggiungere intensità tali da risultare adatte all'alimentazione

RAGGI di LUCE



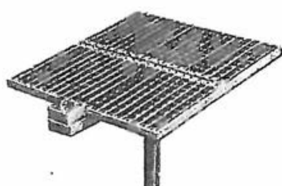


Fig. 44 C - Corrente mediante « cellule solari ». Sono composte di un materiale (selenio o silicio) che emette una corrente elettrica proporzionale (fino ad un certo valore) alla radiazione luminosa che lo colpisce. A sinistra un raggruppamento di 400 cellule collegate in serie-parallelo; fornisce 15 W. Sopra, esempio tipico, schematico di un elemento a giunzione P-N.

di apparecchi. A questo scopo sono state installate ad esempio lungo il percorso di linee telefoniche per alimentare gli amplificatori e vengono anche utilizzate per l'alimentazione degli apparecchi elettronici installati sui satelliti artificiali. Questi tipi di cellule possono essere realizzati mediante l'uso del selenio o del silicio: nel primo caso si ottengono correnti di intensità notevolmente inferiori che non nel secondo, per cui, nonostante un costo maggiore, le cellule al silicio sono preferibili allorché sono necessarie correnti relativamente alte.

È pertanto ancora con i semiconduttori che si è potuto progredire anche in questo campo. Nella figura 44 C si vede come questo effetto, detto « foto-voltaico » si sviluppi ai capi di una giunzione P-N. Si sono già costruite cellule solari al silicio con efficienza del 12 % che possono fornire 1,2 A a 0,45 V (100 mW per cm).

Segni schematici

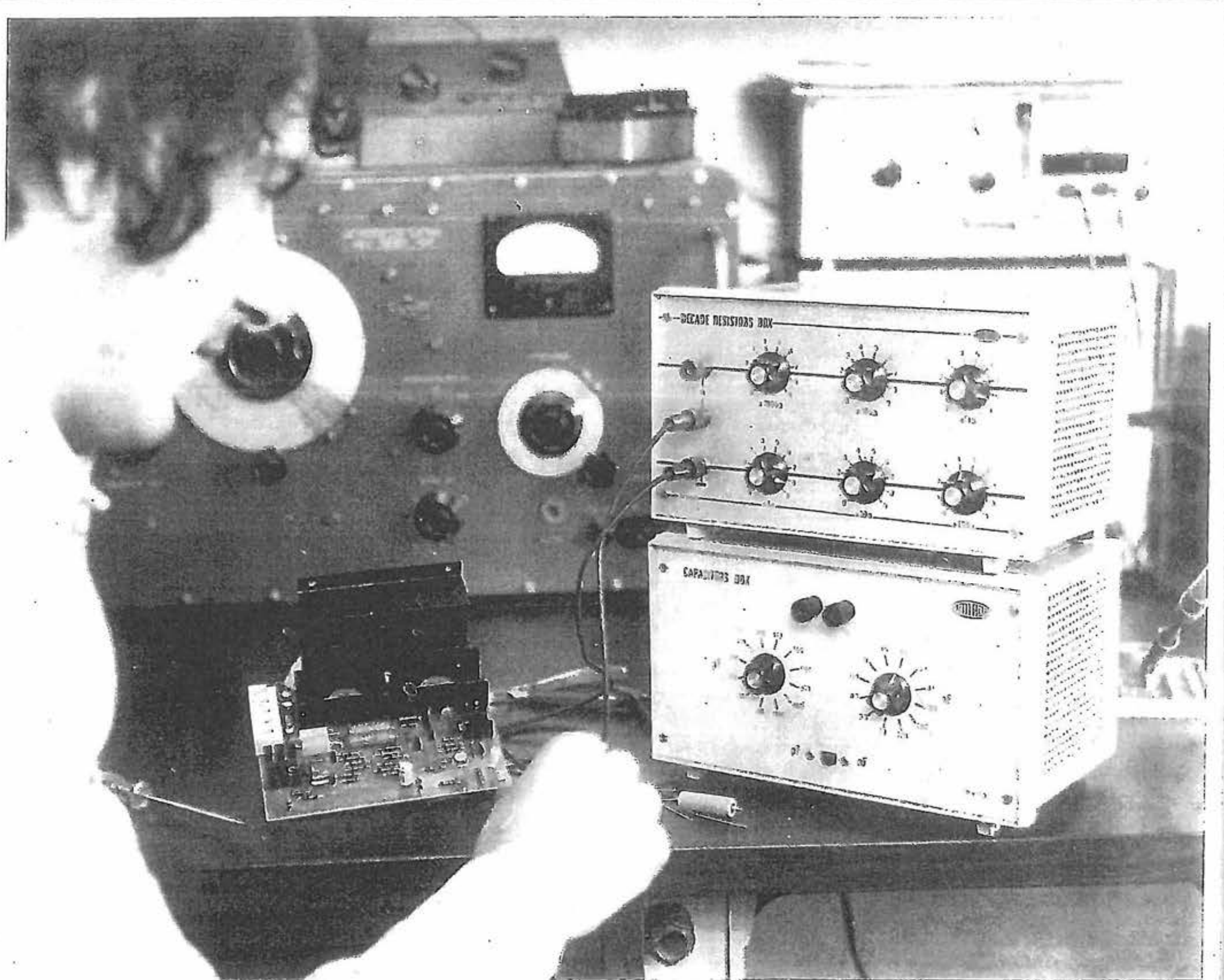
= Condensatore elettrolitico
= Condensatore elettrolitico
= Condensatore elettrolitico
= Resistore da 2 watt
= Resistore da 1 watt
= Resistore da mezzo watt (0,5)
= Resistore da un quarto di watt (0,25)
= Resistenza fissa
= Antenna a telaio
= Antenna a telaio
= Interruttore - generico
= Interruttore semplice
= Interruttore bipolare (due vie)
= Deviatore semplice
= Deviatore bipolare (due vie)
= Commutatore 1 via, 3 posizioni
= Commutatore 2 vie, 3 posizioni
= Presa per jack semplice
= Presa per jack multiplo
= Transistore tipo « PNP »
= Transistore tipo « NPN »
= Pila ad 1 elemento
= Batteria di pile (3 elementi in serie)
= Lampadina a filamento incandescente
= Termocoppia con riscaldatore isolato
= Termocoppia con riscaldatore a contatto
= Cellula fotoelettrica a fotoemissione
= Cellula fotoelettrica ad assorbimento

L'ELETTRONICA

IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

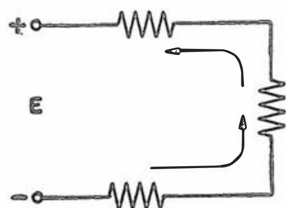
Le prime realizzazioni

4



Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - —70% - Lire 750

La legge di Ohm



Schema classico di collegamento elettrico « in serie »: le tre resistenze sono unite una a seguito dell'altra. Il percorso della corrente è unico.

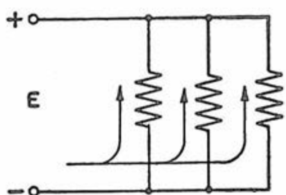
Circuiti semplici

Quando gli elementi del circuito sono connessi in maniera che l'uno sia a seguito dell'altro si dice che essi sono **in serie**. La disposizione è rilevabile chiaramente nella prima delle tre figure a lato: le tre resistenze sono « in serie ». Il percorso della corrente è unico.

Se invece gli elementi sono connessi l'uno di fronte all'altro, si dice che sono **in parallelo**. Ciò appare per le tre resistenze della seconda figura. La corrente, in questo caso compie più di un percorso.

Infine, vi può essere anche una combinazione delle due disposizioni citate; una tra le tante possibili è riportata nell'ultima figura.

Anche nell'analisi del circuito elettrico più semplice è necessaria, ovviamente, la conoscenza delle particolari unità pratiche di misura (il volt, **E**), l'ampère (**I**), l'ohm (**R**) ed il watt (**W**), unità di cui abbiamo già appreso il significato. Compito della lezione presente è quello di chiarire le relazioni esistenti tra dette unità, e specialmente tra **E**, **I**, ed **R**, relazioni normalmente conosciute, nell'assieme come **legge di Ohm**, per ciò che concerne i circuiti semplici, e « leggi di Kirchoff » nei riguardi dei circuiti complessi che vedremo in seguito.



Schema classico di collegamento « in parallelo »: le tre resistenze sono in derivazione l'una rispetto all'altra. La corrente ha tre percorsi.

La legge di Ohm

Nel secolo XIX, un fisico tedesco, George Simon Ohm, dimostrò per via sperimentale la proporzionalità costante tra la corrente elettrica e la tensione nel circuito semplice, e nel 1826 pubblicò i risultati delle sue scoperte.

La legge di Ohm è fondamentalmente lineare e quindi semplice ed esatta, e può essere applicata nella sua forma basilare ai circuiti a corrente continua e a tutti i dispositivi che tale corrente utilizzano.

L'unità di resistenza elettrica, come già sappiamo, si chiama **ohm** (viene normalmente rappresentata dalla lettera greca « omega » Ω), e trova ampia applicazione nel campo delle sorgenti e dei carichi, e nei conduttori usati nei circuiti elettrici ed elettronici.

La legge di Ohm può essere espressa come segue:

L'intensità della corrente, in ampère, presente in qualsiasi circuito elettrico corrisponde alla differenza di potenziale, in volt, presente ai capi del circuito stesso, divisa per la sua resistenza, in ohm.

La medesima legge può essere espressa dalla seguente formula:

$$I = \frac{E}{R}$$

Nella quale:

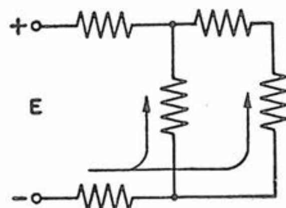
I è l'intensità della corrente in ampère,

E la differenza di potenziale in volt,

R la resistenza in ohm.

Se uno dei tre valori è incognito, esso può essere facilmente individuato mediante tale formula, come vedremo tra breve.

Supponiamo ora che la tensione presente ai capi del carico nel circuito illustrato alla **figura 1 D** sia di 120 volt, e la resistenza effettiva di detto carico sia di 20 ohm: la corrente che lo percorre sarà data perciò dal rapporto 120 : 20, ossia 6 ampère, e se la resistenza effettiva mantiene costante il suo valore di 20 ohm, in conformità della legge di ohm la corrente raddoppia se raddoppia la tensione, e diventa la metà se anche la tensione viene dimezzata.



Schema di collegamento elettrico misto (uno tra i tanti possibili); qui le resistenze sono unite tra loro in varie combinazioni serie-parallelo.



Giorgio Simon Ohm dimostra la relazione che intercorre tra tensione, corrente e resistenza

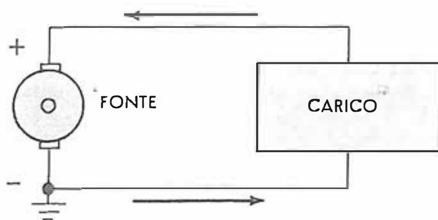


Fig. 1 D - Il circuito elettrico semplice che già conosciamo , formato dai tre elementi di base: sorgente di energia, carico e conduttori (percorso) che uniscono i due elementi citati.

In altre parole, la corrente che percorre il carico varia in maniera direttamente proporzionale col variare della tensione, per cui, se detta tensione viene ridotta a 0, la corrente corrisponderà a 0 : 20 ossia 0 ampère, e se viene aumentata, ad esempio, di 10 in 10 volt cominciando da 0 fino ad un massimo di 120 volt, la corrente assumerà i seguenti valori:

10 : 20 = 0,5 ampère; 20 : 20 = 1,0 ampère;

30 : 20 = 1,5 ampère, e così via.

La **figura 2 D** illustra la relazione che intercorre tra la corrente e la tensione, enunciata nell'esempio precedente; i valori di tensione sono rappresentati orizzontalmente (lungo l'asse **X**), alla destra del punto di origine, mentre i valori corrispondenti di corrente sono rappresentati verticalmente (lungo l'asse **Y**), al di sopra del medesimo punto (*).

Il grafico assume l'aspetto di una linea retta la cui equazione corrisponde a

I = E : 20.

Il numero costante 20 rappresenta la resistenza in ohm del circuito, che si è presunta in 20 ohm, come si è detto, e che in questo esempio si suppone non subisca variazioni col variare della corrente. La **figura 3 D** illustra l'importante caratteristica della legge in parola, di cui si è già detto, e cioè che « se la resistenza è costante, la corrente varia direttamente col variare della tensione ».

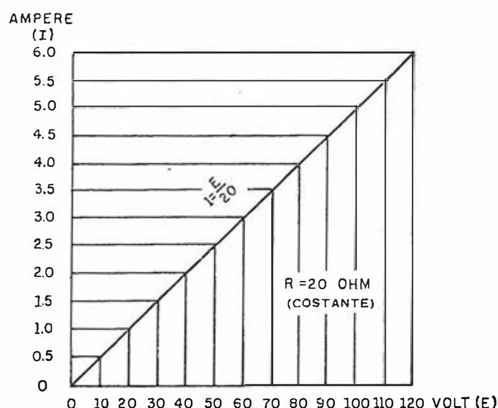


Fig. 2 D - Esempio del rapporto tra corrente (ampère) e tensione (volt), con una resistenza del valore costante di 20 ohm nel circuito semplice della figura precedente, variando la tensione da 0 a 120 volt.

(*) Per illustrare l'andamento di un fenomeno si ricorre spesso ai grafici del tipo riportato a fig. 2 D e seguenti. Lungo una retta orizzontale (detta asse delle X) e lungo una verticale (asse delle Y) si segnano valori prestabiliti delle unità di misura che interessano il fenomeno. I dati rilevati in tempi successivi sono localizzati rispetto alle due rette e segnati con un punto: l'unione dei diversi punti dà luogo ad una linea (detta « curva ») che rispecchia l'andamento del fenomeno.

Se nel caso della figura 1 D si mantiene invece la tensione ad un valore costante (ad esempio: 120 volt), la corrente che percorre il carico dipenderà unicamente dal valore effettivo della resistenza.

Se la resistenza ammonta a 120 ohm, la corrente sarà data da 120 : 120, ossia 1 ampère, come pure, se detta resistenza verrà dimezzata, la corrente sarà raddoppiata e viceversa.

In altre parole: la corrente varia in maniera inversamente proporzionale rispetto alla resistenza, e se quest'ultima viene ridotta di 20 ohm alla volta partendo dal valore di 120 ohm, fino ad un minimo di 20 ohm, la corrente assumerà i seguenti valori:

120 : 100 = 1,2 ampère; 120 : 80 = 1,5 ampère;

120 : 60 = 2 ampère e così via.

La **figura 4 D** illustra la rappresentazione grafica della relazione tra la corrente e la resistenza, relazione che può essere espressa dall'equazione

I = 120 : R

nella quale il numeratore rappresenta il valore di 120 volt dell'esempio citato, e coll'approssimarsi di **R** ad un valore piccolo, la corrente **I** si approssima ad un valore molto grande.

Tale esempio illustra una seconda caratteristica importante della legge di Ohm, ossia che « la corrente varia in maniera inversamente proporzionale rispetto alla resistenza ».

Se infine, nella figura 1 D la corrente venisse mantenuta ad un valore costante di 5 ampère, la tensione dipenderebbe dalla resistenza del carico di cui seguirebbe direttamente le variazioni, e la **figura 5 D** illustra le relazioni tra tensione e resistenza in tale esempio: infatti, i valori di resistenza vengono rappresentati orizzontalmente, lungo l'asse **X**, a destra del punto di origine, mentre i valori corrispondenti di tensione vengono rappresentati lungo l'asse verticale **Y**, al disopra del medesimo punto.

Il grafico risultante assume l'aspetto di una linea retta che corrisponde all'equazione

E = 5 × R

nella quale il coefficiente 5 rappresenta il valore di 5 ampère che nell'esempio viene considerato costante, per cui ciò illustra una terza caratteristica importante, ossia che « la tensione presente ai capi del carico varia in maniera direttamente proporzionale rispetto alla sua resistenza », purché la corrente sia mantenuta ad un valore costante.

Esempi di applicazione

L'equazione della legge di Ohm **I = E : R** può essere trasformata — come abbiamo già accennato — per calcolare la resistenza se, sia la

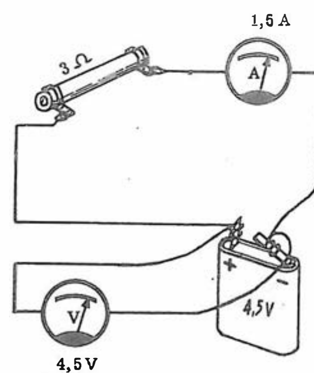
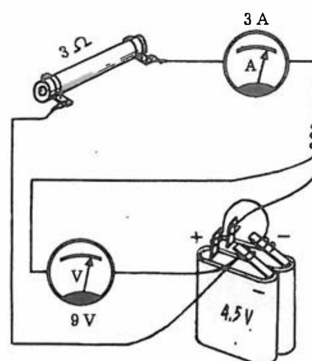
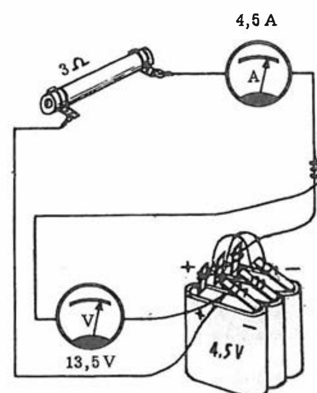


Fig. 3 D - Il rapporto tra correnti e tensioni in un circuito con resistenza costante, può essere facilmente rilevato dalle semplici configurazioni qui illustrate. Al posto della pila da 4,5 V volendo realmente sperimentare è necessario impiegare un alimentatore in grado di fornire 5 ampère.



Mantenendo costante la resistenza (3 ohm), la corrente che con 4,5 V di cui alla figura sopra era di 1,5 A, passa a 3 A (doppio) raddoppiando la tensione (9 V).

Sempre a resistenza costante, la corrente va a 4,5 A (+ 1,5 A) aumentando la tensione di altri 4,5 V (13,5 V totali).



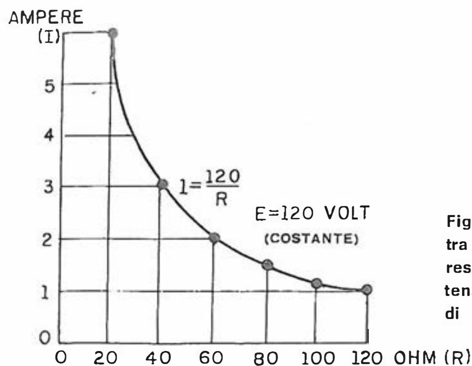


Fig. 4 D - Esempio di rapporto tra corrente (I, in ampère) ed R, resistenza (ohm), relativo ad una tensione applicata nel valore costante di 120 V.

corrente che la tensione sono note, oppure per calcolare la tensione se sono noti i valori di corrente e di resistenza, per cui può assumere le espressioni

R = E : I

ed **E = I × R**.

Ad esempio, se la tensione presente ai capi di un circuito è di 50 volt, e la corrente che lo percorre è di 2 ampère, la resistenza sarà

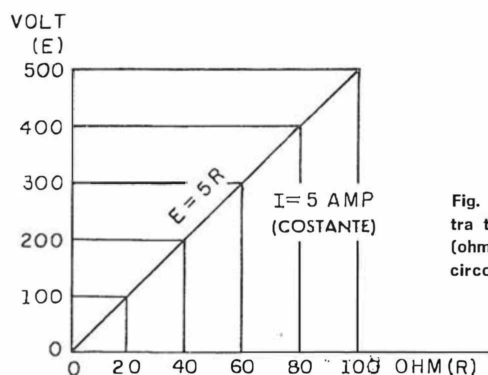


Fig. 5 D - Esempio del rapporto tra tensione (E = volt) e resistenza R (ohm), relativo ad una corrente (I) circolante con valore costante di 5 A.

eguale a (**E : I**) 50 : 2, ossia 25 ohm; inoltre, se la corrente che percorre un conduttore è di 3 ampère, e la resistenza del conduttore è di 0,5 ohm, la caduta di tensione ai suoi capi sarà eguale a (**I × R**) 3 × 0,5 ossia 1,5 volt.

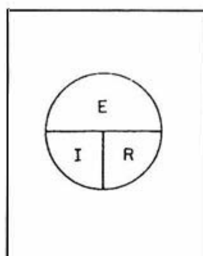
La formula base — e le sue successive trasformazioni — possono essere ottenute rapidamente con l'aiuto della **figura 6 D**. Il circolo contenente E, I ed R, è diviso in due parti in modo che **E** si trovi al disopra della linea, e **I** ed **R** al disotto: per determinare il valore incognito, è necessario innanzitutto coprire la lettera relativa con un dito: la reciproca posizione delle due lettere rimanenti nel circolo indicherà l'operazione aritmetica da effettuarsi per calcolare il valore della prima.

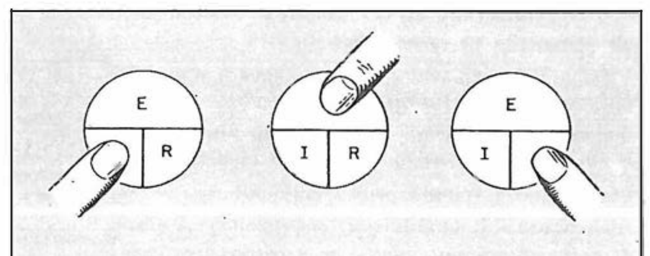
Ad esempio, per trovare **I**, coprire tale lettera con un dito: le lettere rimaste scoperte indicheranno che **E** deve essere divisa per **R**, ossia **I = E : R**.

Per trovare **E**, coprire tale lettera, ed apparirà evidente che **I** deve essere moltiplicata per **R**, ossia che

E = I × R.

Fig. 6 D - Per conoscere la relazione che intercorre tra due delle grandezze I, E ed R, basta coprire quella di valore incognito ed osservare la posizione reciproca delle 2 grandezze rimanenti. Si vede, qui sotto, che coprendo I, rimane E : R e così via.





Infine, per trovare R, si noterà che E deve essere divisa per I, ossia che R = E : I.

Avvertiamo il lettore che, nella trasposizione della formula, non deve basarsi esclusivamente su tale grafico, bensì deve usarlo come supplemento alla sua conoscenza del metodo algebrico, in quanto l'algebra è un elemento basilare nella soluzione dei problemi di carattere elettrico e l'importanza di conoscerne l'uso non deve essere menomata o trascurata a causa della conoscenza di un metodo mnemonico come quello ora descritto ed illustrato.

Conduttanza

La resistenza è stata definita come un'opposizione al passaggio della corrente: ora, invece di valutare un conduttore in base all'ammontare dell'opposizione offerta, si può valutarlo in base alla possibilità che offre alla corrente di scorrere, ossia in base alla « conduttanza », la quale è appunto la misura della possibilità alla quale abbiamo fatto cenno.

La conduttanza è quindi l'opposto della resistenza, e poiché quest'ultima viene espressa in ohm, la prima viene espressa in « mho » (inversione della parola ohm), ed è contrassegnata dalla lettera **G**, per cui

G = 1 : R.

Secondo la legge di Ohm, la tensione viene divisa per la resistenza per trovare la corrente (**I = E : R**), e poiché **G** è il contrario di **R**, avremo

I = E × G.

In elettronica si usa frequentemente una piccola unità di conduttanza, detta « Micromho », che equivale alla milionesima parte di un mho.

Potenza ed energia elettrica

In aggiunta al volt, all'ampère e all'ohm, vi sono due unità di misura che si presentano frequentemente nei calcoli relativi ai circuiti elettrici, ossia l'unità di potenza e l'unità di energia.

Potenza

Probabilmente a chi non è tecnico il concetto di potenza è più noto di quello di tensione, cor-

rente o resistenza: l'elettricità è una sorgente di potenza in quanto si può fare in modo che essa compia un lavoro, come ad esempio, far ruotare un motore, o — come abbiamo già visto — produrre calore in una resistenza, come avviene in un comune saldatore elettrico. Per potenza si intende la quantità di lavoro che può essere prodotto, però — come vedremo — non si considera solo il lavoro fatto o da fare, ma anche il tempo impiegato per farlo.

L'unità di potenza elettrica (il **watt**) corrisponde al prodotto tra il potenziale (in volt) applicato al circuito, e la corrente (in ampère) che scorre in quest'ultimo, per cui l'equazione della potenza è

$$P = E \times I$$

Un potenziale di 110 volt che provochi una corrente di 3 ampère in una resistenza, trasforma l'energia elettrica in calore con un ammontare di 110 volte 3, ossia 330 watt, per cui, essendo, come si è ora visto

$P = E \times I$ e poiché $E = I \times R$

sostituendo il valore di **E** col valore **I** × **R**, avremo

$P = I \times R \times I$ ossia $P = I^2 \times R$

Questa particolare espressione della equazione della potenza — dalla quale si rileva che la potenza in watt in un circuito varia col quadrato della corrente in ampère e con la resistenza in ohm — è molto utile in elettronica. Una corrente di 4 ampère in una resistenza di 2 ohm converte l'energia elettrica in energia termica con un rapporto di 16 volte 2, ossia 32 watt. Dalla legge di Ohm si può ricavare un'altra versione dell'equazione della potenza:

poiché $P = E \times I$ ed essendo $I = \dfrac{E}{R}$

si ha $P = E \left(\dfrac{E}{R}\right)$ ossia $P = \dfrac{E^2}{R}$

Se **E** è eguale a 50 volt ed **R** a 40 ohm, si ha

$$P = \frac{50^2}{40} = 62{,}5 \text{ watt}$$

Tra le due formule che danno il valore di **P** conviene usare evidentemente quella che si adatta meglio al problema specifico.

Non sempre l'energia elettrica viene trasformata in calore: ad esempio, la maggior parte della energia usata per azionare un motore viene convertita in energia meccanica; quella applicata ad un altoparlante o ad una cuffia viene convertita in onde sonore, ed infine una parte dell'energia fornita ad un radiotrasmettitore viene convertita in radioonde.

Dall'ultima equazione si può rilevare che « la potenza in watt fornita ad un circuito varia in maniera direttamente proporzionale rispetto al quadrato della tensione in volt, ed inversamente proporzionale rispetto alla resistenza in ohm ».

La **figura 7 D** costituisce l'espressione grafica di detta equazione: infatti, la tensione è rappre-

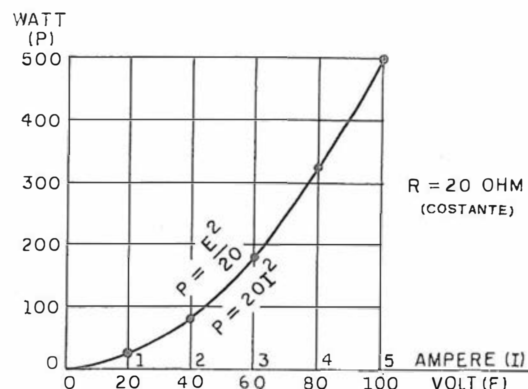


Fig. 7 D - Rapporto tra potenza P (watt) e corrente-tensione (I ed E), relativo ad una resistenza di carico del valore costante di 20 ohm.

sentata lungo l'asse **X**, mentre i valori corrispondenti di potenza in watt sono rappresentati verticalmente, lungo l'asse **Y**. L'equazione $P = E^2 : 20$ rappresenta la relazione tra la tensione applicata e la potenza in un circuito semplice analogo a quello della figura 1 D, nel quale la resistenza abbia il valore costante di 20 ohm.

La tensione viene aumentata di 20 in 20 volt partendo da 0 e fino ad un massimo di 100 volt, ed i valori corrispondenti di potenza vengono calcolati mediante l'ultima formula, per cui si ha:

$\dfrac{(0)^2}{20} = 0$ watt; $\dfrac{(20)^2}{20} = 20$ watt; $\dfrac{(40)^2}{20} = 80$ watt,

e così via.

Tale grafico mette in rilievo il fatto che la potenza in watt fornita al circuito — come si è già detto — varia col quadrato della tensione applicata.

Il grafico della figura 7 D costituisce, però, anche l'espressione dell'equazione $P = (I)^2 \times 20$ in quanto, in questo caso, la corrente è rappresentata orizzontalmente lungo l'asse **X**, a destra del punto di origine, partendo da 0 ampère, ed aumentando di 1 ampère alla volta fino ad un massimo di 5 ampère, mentre i valori corrispondenti di potenza vengono rappresentati lungo l'asse **Y**, al disopra di detto punto. Tali valori vengono calcolati mediante la sostituzione suddetta, nel modo seguente:

$(1)^2 \times 20 = 20$ watt; $(2)^2 \times 20 = 80$ watt;
$(3)^2 \times 20 = 180$ watt e così via.

È importante notare che i grafici relativi alle equazioni $P = \dfrac{E^2}{R}$ e $P = I^2 \times R$ non sono lineari, in quanto la potenza varia sia col variare del quadrato della tensione applicata, sia col variare del quadrato della corrente, ed è altrettanto importante notare che, come appare evidente dall'equazione $P = \dfrac{E^2}{R}$, la potenza fornita ad un circuito la cui tensione è costante, varia in maniera inversamente proporzionale alla sua resistenza, per cui, se la tensione fornita ad un circuito semplice analogo a quello della figura 1 D ha il valore costante di 100 volt, e

se la resistenza viene diminuita da 20 a 10 ohm, la potenza fornita aumenta da

$$\frac{(100)^2}{20} = 500 \text{ watt a } \frac{(100)^2}{10} = 1000 \text{ watt,}$$

per cui, se la resistenza viene dimezzata, la potenza raddoppia.

Si noti appunto in questo esempio che la reciproca relazione non è lineare.

La **figura 8 D** esprime graficamente l'equazione $P = \frac{(100)^2}{R}$, e rappresenta la relazione che sussiste tra potenza e resistenza in un circuito al quale è applicata la tensione costante di 100 volt.

I valori di resistenza sono rappresentati lungo l'asse **X**, mentre i valori corrispondenti di potenza sono rappresentati lungo l'asse **Y**. La resistenza viene variata di 100 ohm per punto partendo dal valore di 100 ohm, fino ad un massimo di 1000, ed i corrispondenti valori di potenza vengono calcolati come segue:

$$\frac{(100)^2}{100} = 100 \text{ watt; } \frac{(100)^2}{200} = 50 \text{ watt;}$$

$$\frac{(100)^2}{300} = 33{,}3 \text{ watt, e così via.}$$

Tale grafico mette anch'esso in evidenza la relazione non lineare tra resistenza e potenza in un circuito a tensione costante: man mano che la prima si approssima ad un valore molto piccolo, la seconda si approssima ad un valore molto grande, e viceversa.

Contrariamente a tale relazione, la potenza, in un circuito a corrente costante varia direttamente con la resistenza, come è illustrato dal grafico della **figura 9 D**. In tale esempio, la corrente viene mantenuta al valore costante di 5 ampère, mentre la resistenza viene aumentata di 1 ohm per punto, fino ad un valore massimo di 10 ohm. Tali valori vengono rappresentati lungo l'asse **X**, e quelli corrispondenti di potenza lungo l'asse **Y**, e vengono calcolati come segue:

$$P = (5)^2 \times 0 = 0 \text{ watt; } (5)^2 \times 1 = 25 \text{ watt;}$$

$$(5)^2 \times 2 = 50 \text{ watt e così via.}$$

Il grafico mette in evidenza la relazione lineare tra potenza e resistenza in un circuito a corrente costante.

Energia

Viene definito energia ciò che è in grado di compiere un lavoro. In meccanica si intende per lavoro il prodotto tra la forza e la distanza lungo la quale essa agisce, mentre nelle unità elettriche pratiche, l'energia corrisponde al **prodotto della potenza in watt per il tempo in ore.** Dal momento che la potenza è la misura del lavoro compiuto, la sua moltiplicazione per il

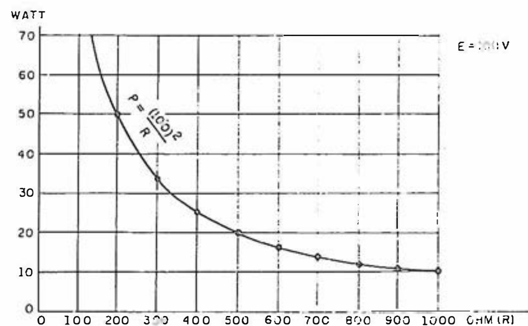


Fig. 8 D - Rapporto tra potenza P (watt) e resistenza R (ohm), relativo ad una tensione applicata con valore costante di 100 volt. La curva esprime graficamente l'equazione $P = (100)^2 : R$.

tempo dà per risultato un prodotto corrispondente all'energia totale considerata, per il periodo di tempo rappresentato dal fattore **t**.

È facile ottenere l'equazione dell'energia moltiplicando entrambi i membri dell'equazione della potenza ($P = E \times I$) per il fattore comune di tempo **t**, ed eguagliando tale espressione alla energia **W** come segue:

$$W = Pt = E \times I \times t$$

Analogamente, entrambi i membri delle equazioni

$$P = E^2 : R \quad \text{e} \quad P = I^2 R$$

possono essere moltiplicati per il fattore di tempo **t**, e quindi eguagliati all'energia **W** come segue:

$$W = (E^2 : R)\,t \quad \text{e} \quad W = I^2 Rt$$

Nelle equazioni dell'energia ora viste **E** è espressa in volt ed **I** in ampère. Se **t** è espresso in ore, **W** esprime il valore in **wattora.**

Se **t** è espresso in secondi **W** rappresenterà il valore in watt secondi o **joule** (1 joule equivale ad 1 watt al secondo).

Dal momento che (vedi pag. 13 c) $I \times t = Q$ (in cui **Q** è espresso in coulomb, **I** in ampère, **t** in secondi), è possibile sostituire **Q** al posto di $I \times t$ ricavando così la seguente equazione:

$$W = QE$$

nella quale **W** è l'energia in joule, **Q** la quantità di corrente in coulomb, ed **E** la tensione in volt.

L'energia elettrica viene comprata e venduta in unità di kilowattora (3.600×10^3 joule) e, nelle grosse centrali di produzione dell'ener-

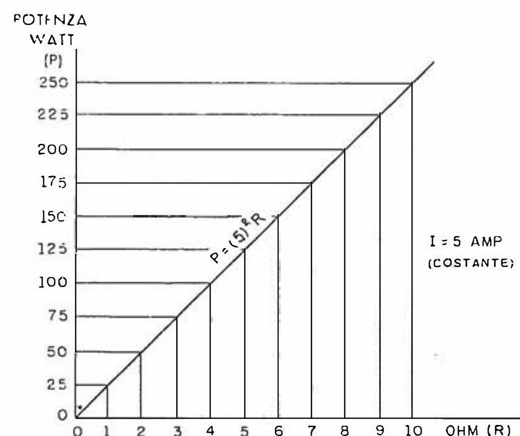
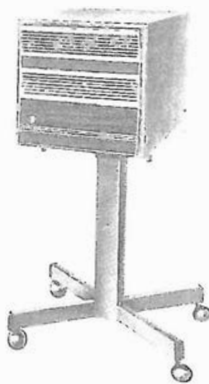


Fig. 9 D - Rapporto tra potenza P (watt) e resistenza R (ohm) relativo ad una corrente I mantenuta ad un valore costante di 5 ampère.

gia elettrica, viene totalizzata in megawattora (3.600×10^6 joule). Ad esempio, se in un periodo di 10 ore vengono assorbiti in media 70 megawatt all'ora, l'energia totale erogata corrisponde a $70 \times 10 = 700$ megawattora. Tale ammontare è equivalente a $700 \times 1.000 = 700.000$ kilowattora, oppure a $700 \times 3.600 \times 10^6 = 2.520.000 \times 10^6$ joule. L'unità più pratica da usare dipende in parte dall'ammontare della quantità di energia considerata, ed in quest'ultimo esempio la più pratica è il megawattora.



Potenza e legge di Ohm

È sufficiente un breve sguardo al campo dell'elettrotecnica per individuare un'ampia varietà di problemi riguardanti la legge di Ohm ed i rapporti di potenza: consideriamo uno degli esempi più comuni, e precisamente quello delle lampade ad incandescenza usate nei circuiti a potenziale costante sia nelle case che nelle fabbriche, le cui caratteristiche sono espresse in volt ed in watt. Quanta corrente consumano? Qual'è la loro resistenza? Se esse sono ad alta luminosità, possono consumare diversi ampère, mentre se sono di basso wattaggio, possono consumare soltanto una frazione di ampère. Per essere precisi, il consumo di corrente da parte di una lampada da 100 watt, 120 volt, può essere calcolato facilmente utilizzando la formula

$$I = \frac{P}{E} = \frac{100}{120} = 0{,}833 \text{ ampère}$$

e la resistenza di tale lampada durante il funzionamento può essere calcolata sostituendo il valore della corrente e quello della tensione nella formula

$$I = E : R$$

e quindi risolvendo rispetto ad R, per cui

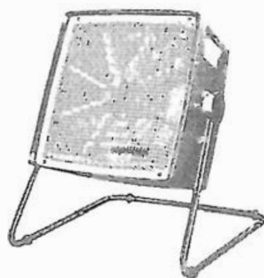
$$R = \frac{E}{I} = \frac{120}{0{,}833} = 144 \text{ ohm}$$

Da ciò deduciamo che una lampada da 100 watt, 120 volt, consuma 0,833 ampère ed ha una resistenza, a caldo, di 144 ohm. Quanto costa dunque l'uso di tale lampada per quattro ore ogni sera, per 30 giorni, a 40 lire per kilowattora? Non molto, come si dimostra col seguente calcolo

$$\text{kilowattora totali} = Pt = \frac{100 \times 4 \times 30}{1.000} = 12$$

Costo totale $= 40 \times 12 = 480$ lire.

Nell'operazione di cui sopra (ed in quella che segue) la potenza anziché in watt è espressa in kilowatt (1000 watt); per questo motivo l'operazione contempla la divisione per 1000 e reca tale numero quale divisore (denominatore della frazione).



Consideriamo il costo di funzionamento di un condizionatore d'aria funzionante a 120 volt con consumo di 9,4 ampère, per 10 ore giornaliere e per 30 giorni.

La potenza in kilowatt ammonta a

$$P = \frac{EI}{1.000} = \frac{120 \times 9{,}4}{1.000} = 1{,}128 \text{ kW}$$

Il consumo totale è $1{,}128 \times 30 \times 10 = 338{,}4$ kW/h, ed al prezzo di L. 40 al kW/h si ha $338{,}4 \times 40 = 13.536$ lire.

Le stufe elettriche domestiche richiedono circuiti appositamente previsti, come si può notare ad esempio dall'ammontare della corrente consumata con un carico di 7,5 kW a 220 volt, con tutti gli elementi in pieno funzionamento.

Il consumo di corrente viene calcolato come segue:

$$I = \frac{P}{E} = \frac{7.500}{220} = 34 \text{ ampère}$$

Poiché la maggior parte dei contatori domestici non permette un'erogazione superiore a 20 ampère, la possibilità di impiego di un carico che consumi 34 ampère richiede ovviamente la istallazione di circuiti speciali, ed è inoltre importante notare che la disponibilità di una tensione di 220 volt invece che di 110 permette l'impiego di conduttori più sottili in quanto, per una data potenza, la corrente varia in proporzione inversa rispetto alla tensione. Per questo motivo, la medesima stufa alimentata a 110 volt, consumerebbe 68 ampère in luogo dei 34 prima ricavati con la formula.

Per chiarire ulteriormente il rapporto inverso tra tensione e corrente per una data potenza, consideriamo il consumo di una lampada da 100 watt alimentata a 6 volt, il quale consumo è dato da

$$I = P : E = 100 : 6 = 16{,}6 \text{ ampère.}$$

Ossia, un ampèraggio venti volte maggiore di quello di una lampada anch'essa da 100 watt ma alimentata a 120 volt, che abbiamo visto essere di 0,833 ampère.



È molto importante che ogni lampada ad incandescenza venga alimentata con la sua tensione corretta in quanto qualsiasi aumento di tensione, sia pure istantaneo, ne diminuirebbe notevolmente la durata. Ad esempio, l'aumento di tensione da 110 a 140 volt per una lampada da 25 watt a 110 volt, provocherà un aumento della corrente da

$$\frac{25}{110} = 0{,}228 \text{ ampère, a } \frac{140}{110} \times 0{,}228 = 0{,}293 \text{ ampère,}$$

e poiché la potenza dissipata varia col quadrato della tensione applicata, l'aumento della tensione applicata, da 110 a 140 volt, aumenterà la potenza a

$$\frac{(140)^2}{(110)^2} = 1{,}62 \text{ volte}$$

quella normale, nel qual caso il filamento della lampada brucia dopo breve tempo.

Un altro esempio di rapporto tra le unità basilari è dato dalla corrente consumata da un ferro

da stiro da 1.000 watt, 120 volt. Si calcola la corrente:

$$I = P : E = 1.000 : 120 = 8,33 \text{ ampère}$$

La resistenza a caldo può essere trovata applicando l'equazione

$$R = \frac{E}{I} = \frac{120}{8,33} = 14,4 \text{ ohm}$$

La resistenza può essere ricavata anche con l'impiego dell'altra formula, quella che fa riferimento alla potenza e precisamente

$$R = \frac{E^2}{P} = \frac{(120)^2}{1.000} = 14,4 \text{ ohm}$$

L'equazione da usarsi dipende dai valori noti e da quelli che si desiderano conoscere. Ad esempio, calcolare l'energia totale in wattora erogata da una batteria di accumulatori da 12 volt che fornisce una corrente di 10 ampère per 10 ore.

Poiché **W = E I t** si ha

$$W = 12 \times 10 \times 10 = 1.200 \text{ wattore.}$$

Il rapporto tra ampère, volt e ore dà l'energia in wattora, ed in questo esempio la batteria è in grado di fornire energia elettrica equivalente a 1.200 wattora, ossia a 1,2 kilowattora.

Mediante le formule fino ad ora note è possibile risolvere, tra gli altri, il seguente problema: data una resistenza di 100 ohm, 500 watt, collegata in modo tale che essa dissipi il suo wattaggio effettivo, calcolare la tensione presente ai suoi capi e la corrente che la percorre.

L'equazione $P = E^2 : R$ può essere risolta rispetto alla tensione in funzione della potenza e della resistenza, per cui

$$E = \sqrt{PR} = \sqrt{500 \times 100} = 224 \text{ volt}$$

ossia un carico di 500 watt, 100 ohm, avrà ai suoi capi una tensione di 224 volt.

La corrente che lo percorre può essere calcolata in base ai valori noti, nel modo seguente:

Poiché $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{500}{100}} = \sqrt{5} = 2,24$ ampère.

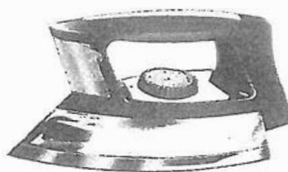
I valori così ottenuti possono essere controllati utilizzandoli per calcolare la potenza già nota precedentemente, ottenendo così il medesimo valore nel modo seguente:

$$P = I^2 R = (2,24)^2 \times 100 = 500 \text{ watt.}$$

Altrettanto dicasi per la resistenza che può essere controllata come segue:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{224}{2,24} = 100 \text{ ohm.}$$

È opportuno che il lettore acquisti l'abitudine di controllare i suoi calcoli servendosi di due o più equazioni per ottenere il medesimo risultato: infatti, due sistemi sono sempre più desiderabili di uno solo per giungere ad un risultato in quanto essi tendono ad evitare gli errori che



si ripetono frequentemente nel caso che se ne segua ripetutamente uno solo.

La corrente e la tensione sono fattori molto importanti nel funzionamento dei motori elettrici: consideriamo infatti la potenza dissipata da un motore industriale che assorba 125 ampère da una sorgente a c.c. di 600 volt.

Poiché **P = E I**, si ha 600 × 125 = 75.000 watt.

Tale potenza può essere espressa in Cavalli (**HP**) oppure in Cavalli Vapore (**CV**) ed essendo 1 **HP** = 746 watt, si avrà 75.000 : 746 = 100,2 **HP**. 1 **CV** = 736 watt, si avrà 75.000 : 736 = 101,9 **CV**.

Se il carico effettivo necessita di una potenza costante in **HP**, avremo che la corrente varierà in proporzione inversa rispetto alla tensione. Supponiamo ad esempio, che la tensione cada da 600 a 450 volt: in tal caso la corrente necessaria per mantenere constante la potenza sarà

$$I = \frac{P}{E} = \frac{75.000}{450} = 166 \text{ ampère}$$

il che rappresenta un aumento di 41 ampère, ossia del 32,8% della corrente normale, che potrà causare un surriscaldamento del motore. Tale fenomeno è importantissimo per i motori elettrici e per le macchine rotanti in genere, e costituisce una situazione in cui l'effettiva resistenza del carico varia col variare del quadrato della tensione applicata ($R = E^2 : P$).

La resistenza effettiva presentata alla corrente da parte del motore quando la tensione è di 600 volt è

$$R = \frac{E}{I} = \frac{600}{125} = 4,8 \text{ ohm}$$

e quando detta tensione scende a 450 volt essa pure scende a

$$\frac{450}{166} = 2,7 \text{ ohm}$$

La resistenza effettiva a 600 volt può essere controllata mediante l'equazione

$$P = \frac{E^2}{R}$$

nella quale i valori di **E** e **P** vengono sostituiti come segue, dopo aver trasformato la formula per risolvere rispetto ad **R**:

$$R = \frac{E^2}{P} = \frac{(600)^2}{75.000} = 4,8 \text{ ohm}$$

ed effettuato il medesimo controllo rispetto alla tensione di 450 volt si ottiene ancora il valore di 2,7 ohm.

La tendenza da parte dei motori ad aumentare la corrente di ingresso quando la tensione diminuisce non si verifica nel caso di altri carichi elettrici come ad esempio resistenze, apparecchi di riscaldamento, lampade elettriche, ecc.; il fenomeno ora descritto perciò non deve essere inteso da un punto di vista generale, indipendentemente cioè dalle caratteristiche del carico particolare in questione.

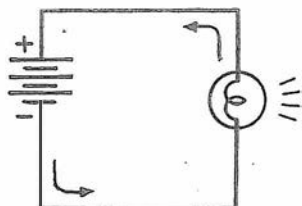


Fig. 10 D - In un circuito vi può essere più di una variabile: nel filamento di una lampadina ad esempio, la corrente non è perfettamente proporzionale alla tensione (prima variabile), perché la resistenza varia con la temperatura del filamento (altra variabile).

L'applicazione delle semplici equazioni o formule di tre lettere considerate in questa lezione non presenta grande difficoltà, tuttavia può presentarne nei confronti di un lettore assolutamente privo di cognizioni matematiche. I suoi tentativi di pervenire alle risposte ricorrendo a circuiti pratici equivalenti, possono infatti rivelargli la presenza di più di una variabile nel circuito elementare.

Ad esempio, egli troverà che, secondo la legge di Ohm, la corrente che percorre un circuito elettrico è direttamente proporzionale alla tensione applicata, tuttavia aumentando la tensione (ad esempio su di una lampada ad incandescenza — **figura 10 D** —) l'aumento di corrente non è direttamente proporzionale all'aumento di tensione. Tale fenomeno si spiega con la tendenza da parte del tungsteno ad aumentare la sua resistenza con l'aumentare della temperatura, per cui un aumento della tensione di alimentazione del filamento causa un aumento della corrente che lo percorre, e quindi della sua temperatura, la quale provoca a sua volta un aumento della resistenza. In questo caso le quantità variabili del circuito sono due invece di una, ossia la tensione e la resistenza, invece che la sola tensione.

Ad esempio, se nel caso in cui sopra, la tensione è di 110 volt e la resistenza di 120 ohm, la corrente è data da

$$I = E : R = 110 : 120 = 0{,}917 \text{ ampère}$$

se la tensione è di 132 volt e la resistenza di 130 ohm, la corrente è data da

$$I = 132 : 130 = 1.015 \text{ ampère}$$

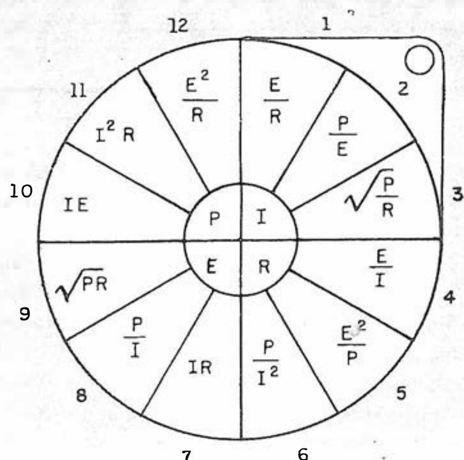


Fig. 11 D - Disposizione logica delle formule relative alle grandezze I, E, R e P. Ciascuna di esse può essere determinata conoscendo almeno due delle altre. Il disco, che può essere riprodotto e tenuto a portata di mano, è diviso in quattro settori, ciascuno dei quali contiene tre formule che consentono di determinare la grandezza presente nel vertice relativo. Ad esempio I (corrente), è data da E : R oppure da P : E o ancora da $\sqrt{P : R}$.

L'aumento di tensione è pari a 132 — 110 = 22 volt, e la percentuale di aumento è data da

$$\frac{22 \times 100}{110} = 20\%$$

L'aumento di resistenza invece ammonta a 130 — 120 = 10 ohm, corrispondente ad una percentuale dell'8,33%, e l'aumento di corrente infine ammonta a 1,015 — 0,917 = 0,098 ampère e corrisponde ad una percentuale del 10,7%. Da ciò si deduce che ad un aumento della tensione del 20% corrisponde un aumento di corrente del solo 10,7%. Se la tensione fosse stata la sola quantità variabile, la corrente ne avrebbe seguito le variazioni proporzionalmente, ossia un aumento del 20% della prima avrebbe causato un eguale aumento della seconda. Nel nostro caso invece, le variazioni non sono proporzionali.

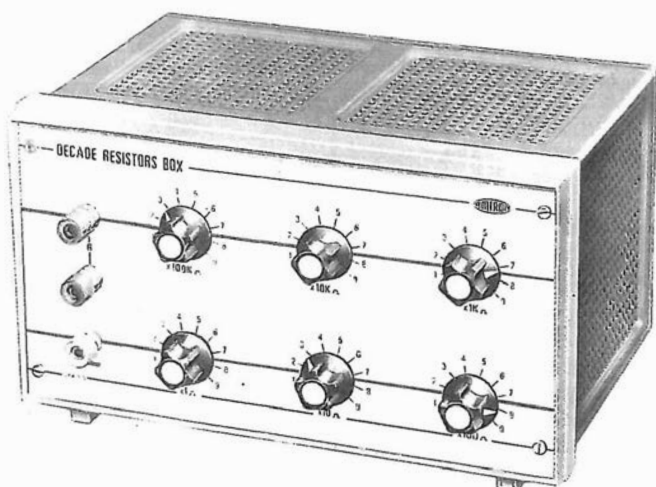
Le equazioni fino ad ora considerate non rivelano di per se stesse il comportamento del circuito, tuttavia indicano le relazioni numeriche che intercorrono tra volt, ampère, ohm e watt, ed in tali limiti contribuiscono a dare al lettore una conoscenza basilare.

La **figura 11 D**, costituita da un circolo diviso in 12 settori, è una dimostrazione sinottica della elaborazione di dette equazioni, le quali sono sistemate in ordine progressivo dal 1° al 12° settore, secondo l'ordine seguito nella spiegazione teorica.

È opportuno tuttavia ricordare che anche questa figura non deve sostituire la conoscenza necessaria per ottenere, attraverso il ragionamento, le varie trasformazioni, bensì deve servire come aiuto per trovare un elemento incognito in funzione di altri, rapidamente.

Resistenza specifica

Non avendolo fatto prima, riteniamo qui opportuno approfondire, quanto basta per chiarirne il significato, il concetto di resistenza specifica, o **resistività**: si definisce dunque come tale **la resistenza, espressa in ohm, che un volume unitario di una certa sostanza presenta al passaggio della corrente elettrica.** Noti il lettore che la resistività ha nella « conduttività » il suo reciproco. Si ricordi che la resistenza di un qualsiasi conduttore di sezione uniforme è direttamente proporzionale al prodotto della lunghezza per la resistenza specifica del medesimo ed inversamente proporzionale alla sua sezione. L'espressione analitica di questo concetto conduce ad esprimere la resistenza R, in ohm, di un conduttore, mediante l'equazione $R = \rho \frac{L}{A}$, ove ρ (rho) esprime la resistenza specifica in ohm/metro, **L** la lunghezza del conduttore in metri ed **A** la sezione del medesimo in metri quadrati.



Un "Box" di resistori

per il laboratorio

Potete disporre di qualsiasi valore resistivo, con precisione del 2%, da 0 a 999.999 ohm con variazioni di 1 ohm per volta. Da 1 a 9 ohm, precisione dell' 1%; dissipazione = 2 watt.

Questa che presentiamo come prima realizzazione da effettuare per una dotazione strumentale di base è in effetti un comodo accessorio che non dovrebbe mancare in un laboratorio attrezzato. Consente di ottenere un milione di valori resistivi diversi da 0 a 999.999 ohm.

Le possibilità d'uso dell'apparecchio sono svariatissime, nei casi dove è necessario trovare il valore ottimo di una resistenza da inserire in un circuito, senza dover ricorrere al calcolo che sovente risulta piuttosto complesso.

Il risparmio di tempo rispetto agli altri sistemi è notevolissimo ed i risultati sono di grande precisione. Il valore della resistenza inserita si legge direttamente sul frontale dello strumento osservando la posizione dei vari commutatori.

Il contenitore metallico collegato a terra garantisce un'ottima schermatura contro i disturbi esterni.

I valori delle resistenze che è possibile ottenere tra i morsetti coprono largamente la gamma necessaria per tutti i problemi connessi ai circuiti a semiconduttore.

Praticità del sistema

I valori dei componenti da applicare in un determinato circuito si possono quasi sempre determinare con il calcolo.

Ma il lavoro di calcolo, anche se molti non valutano questo aspetto del problema, è un lavoro lungo. Il metodo sperimentale, nel caso di una produzione di prototipi e specificamente nel campo elettronico, è altrettanto valido del metodo matematico. Bisogna solo organizzarsi un pochino in modo che la necessità di varie prove con diversi valori dei componenti non si trasformi in una sorgente di confusione e di errori.

A questo scopo, nel campo della scelta degli opportuni valori resistivi da inserire in un circuito, non esiste nulla di meglio che la cassetta a decadi, con la quale si possono inserire in circuito valori resistivi variabili a piccolissimi gradini.

L'aspetto della cassetta di resistori (che è denominata UK 415/S nella serie Amtron) è quello di un'apparecchiatura da laboratorio pratica e maneggevole.

Con questo metodo si ha sempre la conoscenza certa del valore resistivo inserito di volta in volta in circuito, cosa che non è altrettanto facile con l'uso di un resistore variabile. Naturalmente gli elementi costitutivi di un complesso a decadi, devono essere della migliore qualità e di ottima precisione, ed il valore del minimo gradino deve essere molto piccolo.

In questo modo potremo non solo avere la certezza del valore migliore del componente da inserire in circuito, ma potremo altresì valutare i limiti della sua variazione possibile rispetto ai limiti di degradazione del risultato, e potremo quindi stabilire sia il valore che la tolleranza del componente che andrà montato nella stesura definitiva del progetto o del prototipo.

Gli usi del « box » di resistori sono svariatissimi, ed utili sia allo sperimentatore dilettante che al professionista, al radioriparatore, allo studioso, ecc.

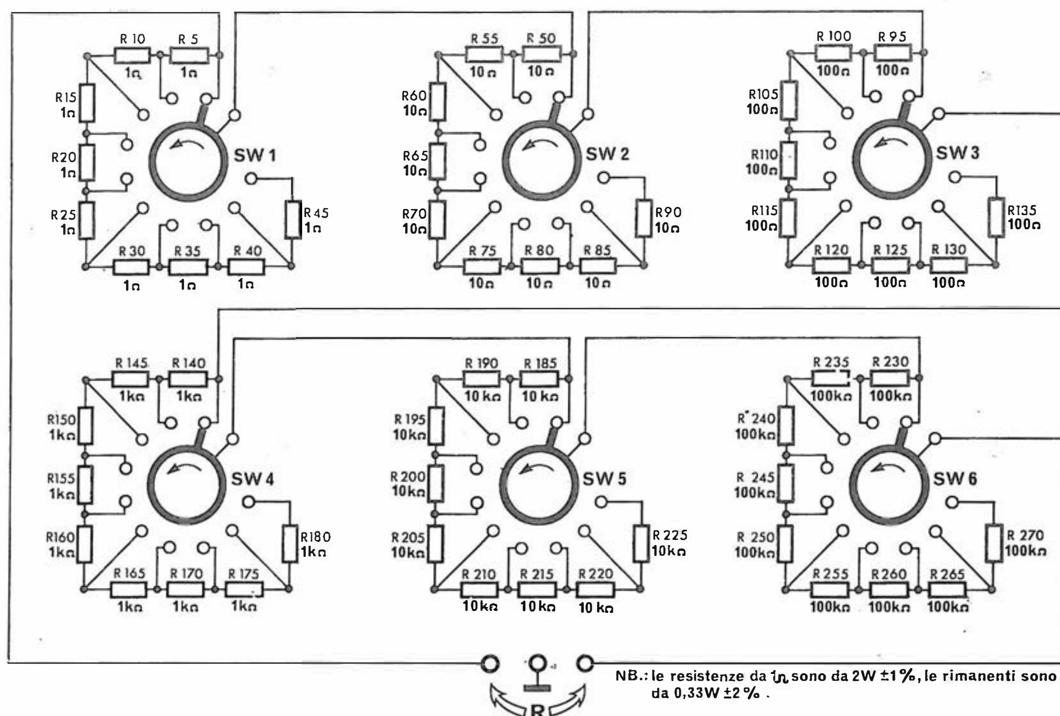
Potremo determinare rapidamente e con esattezza i valori dei resistori da inserire in reti di polarizzazione, il carico ottimo di un elemento attivo, potremo dimensionare reti di reazione e di controreazione, correttori di tonalità, filtri, partitori, eccetera.

Un altro uso non trascurabile del « box » di resistori è il suo impiego come braccio variabile di un ponte o di un potenziometro di misura.

Infatti, l'equilibratura di un ponte (uno strumento che analizzeremo più avanti) richiede una vasta possibilità di variazione del braccio destinato ad equilibrare la resistenza incognita.

Lo stesso dicasi del sistema di misura di tensioni incognite con il potenziometro.

Nel progettare questa apparecchiatura si è considerato il fatto che al giorno d'oggi diventa sempre più raro l'uso delle valvole nei sistemi elettronici a favore dei semiconduttori. Questa considerazione ha portato ai seguenti risultati.



Lo schema elettrico rende evidente il collegamento in serie di sei gruppi di valori, si da sommare gli uni agli altri ed ottenere tra i due morsetti « R » il valore totale; tra i due morsetti citati, quello di massa della custodia.

Una limitazione al valore massimo della resistenza ottenibile. Infatti, ci si limita ad un valore massimo di un megaohm (1 milione di ohm) sufficiente per le varie polarizzazioni dei semiconduttori bipolari (transistori) e sufficiente anche per le usuali applicazioni dei transistori ad effetto di campo.

Questo è dovuto al fatto che in generale non sono in gioco per la polarizzazione dei semiconduttori le tensioni molto alte necessarie per le valvole.

La dissipazione di potenza dei resistori usati è tenuta limitata. Sempre per l'uso dei semiconduttori, le potenze sono limitate sia dalle minori tensioni in gioco, sia dai limitati livelli di corrente usati negli stadi più impegnativi dal punto di vista circuitale.

Solo per i valori più bassi si è prevista una dissipazione di 2 watt in previsione di doverli usare in circuiti di emettitore di stadi di potenza.

Naturalmente tutto questo richiede una contropartita, cioè una maggior precisione ai bassi livelli di resistenza ed una maggiore suddivisione dei valori.

Il gradino minimo di variazione è di un ohm, quindi con questo « box » di resistori si possono ottenere un milione di valori resistivi diversi, disponendo nel modo opportuno le sei decadi sistemate nello strumento.

La precisione dei resistori è dell'1% per la decade delle unità e del 2% per le successive decadi.

La lettura del valore resistivo impostato si esegue leggendo le varie posizioni dei sei commutatori delle decadi.

Il contenitore metallico che può essere messo a terra attraverso un apposito connettore, esercita un effetto schermante sul complesso impedendo ai collegamenti interni di raccogliere i disturbi che perturbano sempre il campo elettromagnetico ambientale.

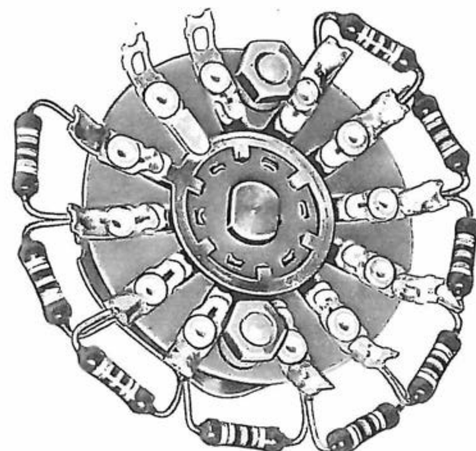
Questo accorgimento permette di usare il « box » di resistori anche per stadi a basso livello di segnale.

Da quanto detto sopra risulta evidente che l'utilità che il tecnico può trarre da questo « box » è rilevante sotto diversi punti di vista.

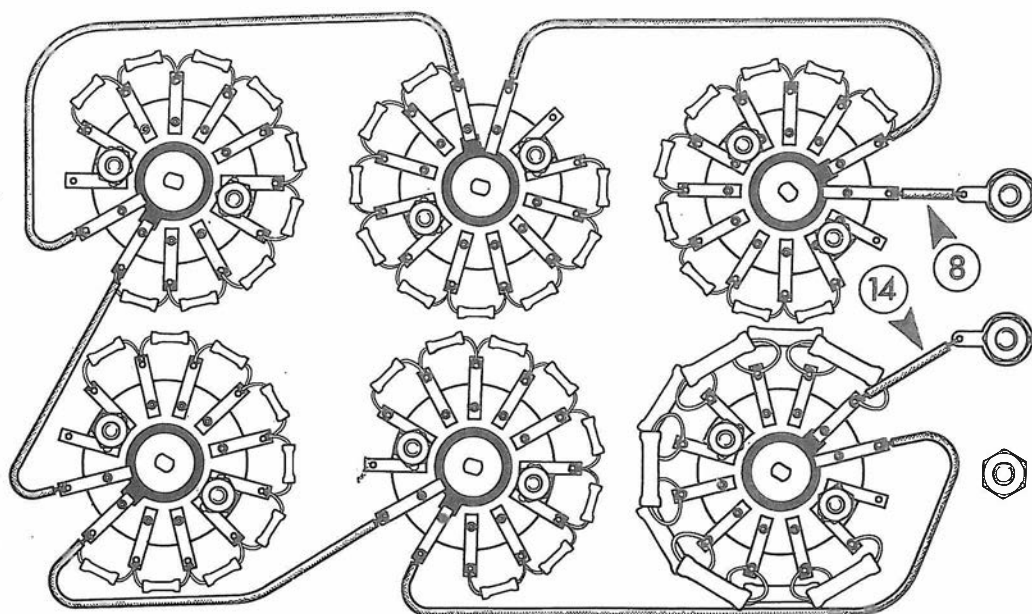
Il circuito elettrico

Il circuito elettrico è di estrema semplicità.

I sei commutatori SW1, SW2, SW3, SW4, SW5, SW6 inseriscono in circuito dieci resistori ciascuno che variano la resistenza inserita tra le boccole di uscita rispettivamente di unità, decine, centinaia, migliaia, decine di migliaia, centinaia di migliaia di ohm.



Esempio del collocamento di singoli resistori sul proprio commutatore. Si devono preparare sei dispositivi come questo.



I sei commutatori, corredati dei rispettivi resistori, sono inseriti sul retro del pannello frontale e uniti tra loro dai conduttori indicati in figura. « 14 » e « 8 » sono i collegamenti ai morsetti d'uscita.

Commutatore	Peso	Posizione	Valore resistivo
SW6	100.000	8	800.000
SW5	10.000	3	30.000
SW4	1.000	5	5.000
SW3	100	6	600
SW2	10	7	70
SW1	1	8	8
			TOTALE 835.678 ohm

Si noterà che ogni commutatore inserisce nove resistori i cui terminali presentano i dieci valori resistivi richiesti, da 0 a 9 per 10^n, dove n va da 0 a 5.

Per esempio, per formare la resistenza di 835.678 ohm si devono posizionare i commutatori nelle posizioni come riportato in tabella.

Il massimo valore resistivo raggiungibile è di 999.999 ohm.

Questi valori sono affetti dall'errore percentuale dovuto alle tolleranze dei resistori, ma questo errore, oltre ad essere piccolo percentualmente, tende a compensarsi statisticamente dato il numero di resistori disposti in serie, specie per valori alti.

La stabilità termica dei resistori a strato adoperati è veramente ottima, quindi la variazione eventuale della temperatura ambiente provocherà variazioni minime, che sarebbe possibile rilevare solo con strumenti molto precisi e che in ogni caso non avrebbero effetto sul funzionamento della maggior parte dei montaggi elettronici.

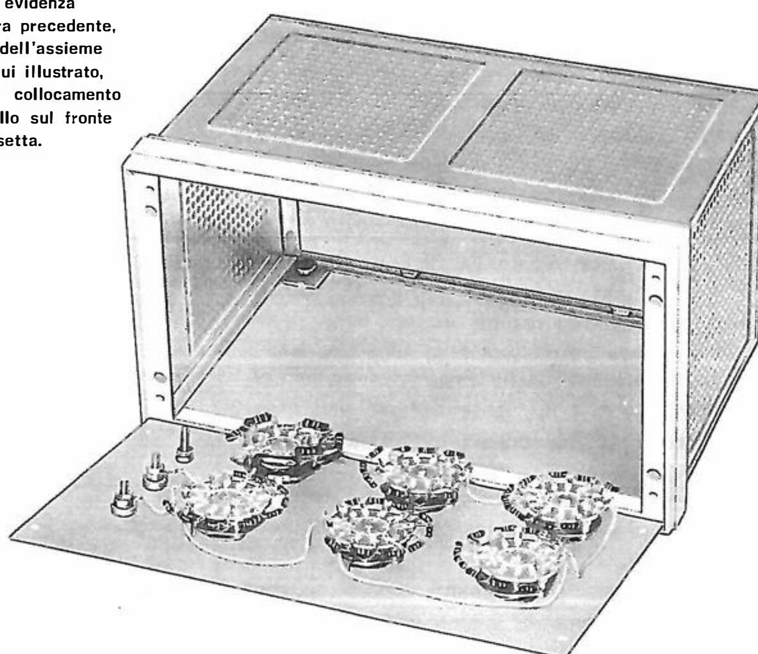
Montaggio

L'apparecchio completo è disposto entro un contenitore metallico unificato di aspetto gradevolmente professionale, di basso peso, e di facile trasporto. Il contenitore è formato da sette elementi di facilissimo montaggio e smontaggio per verifiche o riparazioni.

Sul pannello frontale sono montati i sei selettori dei valori resistivi, le due prese a cui fa capo la resistenza predisposta, e la presa di terra che serve a mettere a massa l'involucro metallico allo scopo di evitare interferenze elettromagnetiche dall'ambiente.

Il contenitore è dotato di un supporto per l'inclinazione per una migliore manovrabilità e facilità di lettura.

Tutte le istruzioni per il montaggio sono dettagliatamente esposte nei fogli descrittivi che accompagnano il materiale Amtron. La sigla di questo « kit » è U 415/S. Vi è una sequenza che è opportuno rispettare perché risultante da una scelta razionale delle operazioni nella loro successione. Le illustrazioni che riportiamo dimostrano quanto semplice sia il montaggio per effettuare il quale la cura massima richiesta è quella di eseguire buone saldature.



Terminate le operazioni messe in evidenza dalla figura precedente, l'aspetto dell'assieme è quello qui illustrato, prima del collocamento del pannello sul fronte della cassetta.

Circuiti elettrici semplici

Abbiamo già visto nelle pagine precedenti che cosa si intende per circuito elettrico e come si possono predisporre circuiti in serie, circuiti in parallelo e circuiti misti, cioè in serie-parallelo; abbiamo poi fatta la conoscenza delle unità pratiche di misura della corrente che circola nei circuiti stessi e delle relazioni esistenti tra dette unità.

È opportuno ora che i circuiti di cui sopra, e gli elementi che li compongono, vengano esaminati in modo più analitico nel loro funzionamento perché, in pratica, saranno sempre disposizioni del genere — più o meno variamente combinate — che incontreremo, attuate sotto l'aspetto di apparecchiature elettroniche o di applicazioni delle stesse.

Circuiti in serie

Il circuito di **figura 12 D**, che già conosciamo, è un circuito formato da tre resistenze poste in serie rispetto ad una sorgente di energia. Incidentalmente diremo che la tensione e la corrente, in tale circuito, raggiungono i valori massimi e minimi nel medesimo istante (esse vengono dette per questo fatto, « in fase »); vedremo, più avanti, quale importanza assuma il fatto che tensione e corrente siano o meno in fase tra loro.

Facciamo osservare anche che, in un circuito a c.c., le cadute di tensione hanno una loro polarità: ossia il lato dal quale « la corrente entra » nella resistenza « è negativo », quella dal quale esce « è positivo ».

Dalla caratteristica di cui sopra consegue che nel circuito di figura 12 D la corrente può scorrere in un'unica direzione.

Altra caratteristica importante del circuito è che l'ammontare di tale corrente è eguale e costante in tutti i punti del circuito stesso.

Esaminiamo infatti un tale circuito (**figura 13 D:** circuito corrispondente a quello di figura 12 D).

In esso **A1**, **A2**, **A3** ed **A4** rappresentano degli amperometri (strumenti misuratori dell'intensità di corrente) inseriti in vari punti: indipendentemente dal valore della tensione applicata E_t e da quello della resistenza totale del circuito ($R_1 + R_2 + R_3$), le letture dei vari strumenti sono tutte identiche tra loro; se avviene una variazione — sia nella tensione che nella resistenza — ad essa corrisponde una variazione di lettura del medesimo ammontare in tutti gli strumenti.

Ricordiamo che gli strumenti indicati nel circuito, gli amperometri, devono essere collegati « in serie » al circuito, e quindi il circuito stesso deve essere aperto per inserirvi lo strumento.

Nel circuito in serie valgono le seguenti leggi:

1) La corrente — come abbiamo detto — è la stessa in tutti i punti del circuito, quindi

$$I_{totale} = I_1 = I_2 = I_3$$

2) La somma delle cadute di tensione lungo il circuito in serie, è eguale alla intera tensione applicata E_t, quindi

$$E_{totale} = E_1 + E_2 + E_3$$

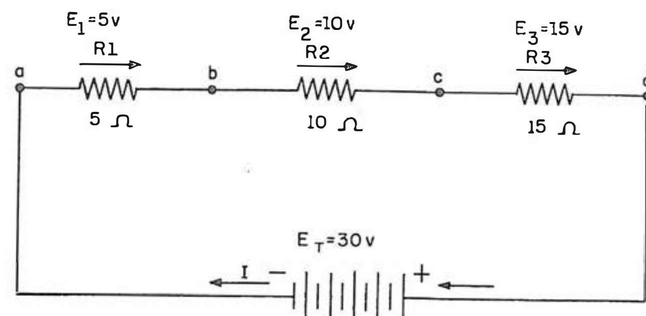
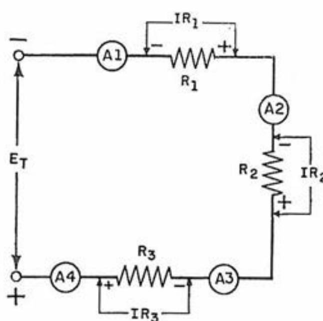


Fig. 12 D - Circuito di tre resistenze in serie. La tensione ai capi delle resistenze è in rapporto al loro valore (5 V per 5 ohm, ecc.); il totale risulta sempre pari a quello della sorgente di tensione.

Fig. 13 D - La corrente, in un circuito in serie è eguale e costante in tutti i punti del circuito stesso, come possono indicare i vari strumenti creati per leggerla e cioè gli « amperometri » (A_1, A_2, ecc.).



Resistenze in serie

La legge di Ohm può essere applicata al circuito intero, come anche ad ognuno dei singoli componenti del circuito stesso, il che può essere così espresso: nel primo caso (cioè circuito intero):

1) La corrente totale che scorre in un circuito, equivale al rapporto tra la tensione totale e la resistenza totale.

E nel secondo caso (singoli componenti), nel modo seguente:

2) La corrente che scorre in un dato punto di un circuito, equivale al rapporto tra la tensione presente ai capi di quel dato componente e la sua resistenza.

Applicando la legge di Ohm all'intero circuito della figura 13 D si ha:

$$E_{totale} = I\,R_{totale}$$

La caduta di tensione individuale presente ai capi di ogni resistenza può essere espressa come segue:

$$E_1 = I\,R_1; \quad E_2 = I\,R_2; \quad E_3 = I\,R_3$$

Esprimendo ora la tensione di alimentazione e le cadute di tensione lungo il circuito in termini di cadute **I R**, si ha:

$$I\,R_{totale} = I\,R_1 + I\,R_2 + I\,R_3$$

e dividendo entrambi i membri dell'equazione per **I** (cioè sopprimendo **I** in entrambi i membri), si ha:

$$R_{totale} = R_1 + R_2 + R_3$$

Da ciò si deduce che **in un circuito in serie, la resistenza totale è eguale alla somma delle resistenze dei vari componenti separati.**

La resistenza totale di un circuito viene detta « resistenza equivalente », la quale è in sostanza il valore resistivo unico che può essere posto in sostituzione come carico senza che la corrente subisca per questo variazioni.

Potenza in un circuito in serie

Poiché in tutti i punti di un circuito in serie la corrente è costante, anche il lavoro viene compiuto contemporaneamente in tutte le resistenze che compongono il circuito, quindi la potenza totale logicamente è data da:

$$P_{totale} = P_1 + P_2 + P_3$$

ossia, per calcolare la potenza dissipata in un circuito in serie, come ad esempio quello di figura 13 D, si può:

1) computare le dissipazioni individuali e addizionarle, oppure

2) usare i valori totale come segue:

$$P_{totale} = E_t \times I_t$$

Analisi di un circuito in serie

Un collegamento in serie spesso adottato è quello dei circuiti dei filamenti delle lampade, e, poiché detti filamenti devono funzionare ad un solo ben definito valore di corrente, è necessario che questa sia costante in tutti i punti del circuito. Da ciò si deduce che, se per caso si verifica un mutamento nel circuito, è necessario che venga variata di conseguenza la tensione onde mantenere la corrente al suo giusto valore.

Per il motivo di cui sopra i circuiti in serie dei filamenti vengono spesso chiamati « circuiti a corrente costante » e a tensione variabile, ed ogni volta che una lampada è aggiunta o tolta dal circuito, è necessario regolare nuovamente la tensione.

Due dispositivi che non lavorano con la medesima corrente, non possono funzionare appropriatamente se collegati in serie: ad esempio, una lampada per 120 volt, 75 watt, richiede una corrente di 0,625 ampère ($I = W : V$); se tale lampada viene collegata in serie con un'altra pure per 120 volt ma da 60 watt (che richiede 0,500 ampère), è impossibile regolare la tensione di alimentazione in modo che entrambe abbiano la esatta luminosità. Infatti, se la tensione è regolata in modo da fornire una corrente di 0,500 ampère, quella da 75 watt non riceve energia sufficiente, mentre se viene regolata per una corrente di 0,625 ampère, quella da 60 watt viene sovraccaricata.

Il circuito in serie è particolarmente suscettibile di guasti e inconvenienti: se, per caso, anche una sola lampada si brucia e si interrompe, il circuito resta aperto e tutte le altre lampade restano prive di alimentazione. Ciò accade ad esempio, per le lampade di un albero di Natale, che sono appunto collegate in serie.

Può accadere per contro, che una lampada vada in cortocircuito e in questo caso si ha un altro inconveniente: mancando la sua resistenza le altre lampade subiscono una pericolosa tensione, superiore a quella necessaria e per loro normale.

Vi sono nonostante ciò alcune applicazioni nelle quali i circuiti in serie sono impiegati vantaggiosamente: ad esempio, nell'illuminazione delle strade, dove i circuiti vengono controllati facilmente; in questo caso l'enorme risparmio di cavo di collegamento supera ogni altra considerazione. Viene risparmiato cavo perché facendo ricorso ad una sorgente di tensione relativamente alta e, appunto, ad un circuito in serie, si possono usare conduttori più sottili in quanto la corrente è inferiore a quella che si avrebbe qualora le lampade fossero tutte collegate in parallelo tra loro.

Nei circuiti in serie del tipo usato per l'illuminazione stradale, è necessario comunque adottare alcuni accorgimenti sia per ristabilire la continuità se una lampada si brucia, sia per la tensione applicata allo scopo di mantenere costante la corrente.

Il primo problema viene risolto mettendo in parallelo ad ogni lampada un dispositivo detto « disco a pellicola isolante »: esso agisce come isolante alla normale caduta di tensione presente ai capi della lampada, quando il circuito è continuo.

Se la lampada però si interrompe, la pellicola isolante viene a subire — sia pure per un istante — l'intera tensione di alimentazione, poiché, verificandosi l'interruzione, si ha assenza di corrente e in assenza di corrente non vi è caduta di tensione attraverso le altre lampade. In tal caso la tensione è abbastanza forte da forare la speciale pellicola isolante: resta, per questo fatto, attuato un cortocircuito ai capi della lampada interrotta e viene ristabilita di conseguenza la continuità dell'intero circuito.

L'azione si verifica così rapidamente che, in pratica, si nota solo una breve sospensione dell'intensità luminosa.

A questo punto però si produce il caso in cui (mancando il consumo di una lampada) il resto del circuito viene sovraccaricato: la tensione necessaria per un certo numero di lampade, viene infatti applicata a tutte le lampade meno una. Occorre un regolatore della corrente.

Un tipo di regolatore a corrente costante che rimedia a tale inconveniente consiste in un « trasformatore » (organo capace di innalzare o abbassare una data tensione) munito di un dispositivo mobile che si sposta automaticamente per dare una corrente costante per qualsiasi carico, entro la sua portata massima.

Il funzionamento del trasformatore è tale che una tensione ad esso applicata in un circuito detto « primario » trasferisce una tensione in altro circuito detto « secondario »; il grado di accoppiamento tra i due avvolgimenti controlla l'ammontare della tensione trasferita o meglio « indotta » nel secondario per l'alimentazione del circuito.

Se uno dei componenti del circuito in serie

viene eliminato, in questo speciale trasformatore il grado di accoppiamento si riduce, col risultato di una minore tensione indotta, e, quindi, di un ristabilimento della corrente al suo valore iniziale.

Nei radioricevitori di vecchio tipo come vedremo, erano impiegate particolari lampade dette « valvole »; le valvole richiedono il riscaldamento di un loro elemento noto come « filamento », e tale riscaldamento avviene facendo circolare — a somiglianza di quanto avviene in una comune lampadina — la corrente nel filamento stesso che, per tale fatto, è portato al calore rosso.

In determinati tipi di ricevitori i diversi filamenti venivano collegati in serie tra loro e a volte una adatta resistenza di caduta (R6) viene posta nel circuito per abbassare la tensione di rete fino al valore opportuno (**figura 14 D**).

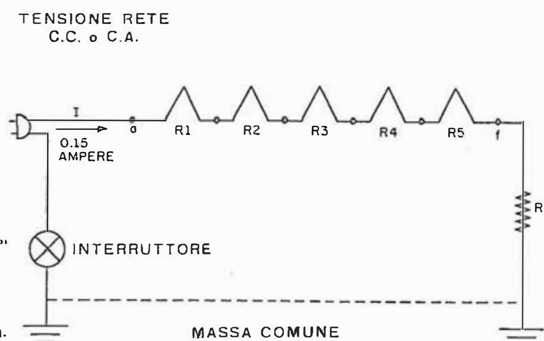


Fig. 14 D - Circuito relativo all'accensione di filamenti di valvole (R_1, R_2, ecc.) in serie. La resistenza R_c chiude il circuito e viene scelta di valore tale da far sì che tra i punti « a » ed « f » sia presente una tensione pari alla somma delle tensioni necessarie per accendere il filamento di ogni singola valvola.

Circuiti in parallelo

La corrente in un circuito in parallelo

Un circuito in parallelo è costituito da due o più circuiti nei quali può scorrere la corrente; un esempio è visibile in **figura 15 D** in cui si notano tre resistenze in parallelo (in inglese, « shunt »), ai capi delle quali è applicata una tensione, ed ognuna delle quali costituisce un circuito separato.

La corrente totale che entra ed esce dalla combinazione si chiama « corrente di linea », ed è costituita dall'intera corrente fornita dalla sorgente di energia; nel nostro caso, può essere misurata inserendo un amperometro in qualsiasi punto della linea compreso tra **A** e **B** o tra i punti **C** e **D.**

Nel punto **B** essa si divide nei tre rami in **I1**, **I2** ed **I3** e nel punto **D** le tre correnti si riuniscono per tornare a formare la corrente di linea che ritorna alla sorgente di energia.

Tutto ciò illustra una legge relativa ai circuiti in parallelo: la **corrente totale fornita al circuito è eguale alla somma delle correnti che percorrono i vari rami**, cioè:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3$$

In altre parole, la somma delle correnti che entrano in un nodo è eguale alla somma di quelle che ne escono.

Usando un segno positivo per indicare le correnti che entrano in un nodo, e facendo riferimento al punto **B** del circuito di figura 15 D, si ha:

$$+ I_{tot} - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Si noti che questa equazione non è che una seconda versione dell'equazione precedente.

La tensione in un circuito in parallelo

Il rapporto tra le tensioni in un circuito in parallelo è mostrato nella **figura 16 D** nella quale vediamo nuovamente tre resistenze collegate in parallelo ai capi di una sorgente di alimentazione.

Il voltmetro **V** (strumento lettore della tensione) è collegato ai capi di tutte e tre i rami, come pure ai capi della sorgente.

Se consideriamo trascurabile la resistenza dei fili di collegamento, vediamo che il terminale superiore di ognuna delle resistenze è al medesimo potenziale del terminale superiore della sorgente, rispetto ai rispettivi terminali inferiori, e viceversa, il che ci permette di constatare un'altra legge relativa ai circuiti in parallelo, e cioè che **la tensione applicata a tutti i rami di un circuito in parallelo è la medesima:**

$$E_{tot} = E_1 = E_2 = E_3$$

Più avanti constateremo che, quando i valori delle resistenze di carico di un circuito sono molto bassi, il valore di resistenza dei collegamenti, normalmente basso, deve essere anche esso considerato, in quanto risulta, in tal caso, relativamente grande in confronto alla resistenza del carico; la caduta di tensione **IR** che si produce nel conduttore non è allora più trascurabile.

Resistenza in parallelo

Ricordiamo che, in un circuito in serie con più di una resistenza, la resistenza totale è eguale alla somma di tutte le resistenze, ed è maggiore di ognuna di esse.

Ciò non accade nei circuiti in parallelo: il motivo può essere chiaramente illustrato dall'analogia con lo scorrimento dell'acqua in un tubo.

Aumentando la resistenza del circuito (somma di più resistenze = circuito in serie) si ottiene il medesimo effetto che si otterrebbe

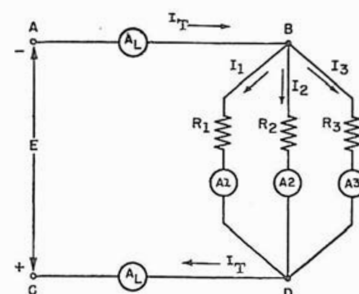


Fig. 15 D - Circuito di tre resistenze in parallelo. Ogni resistenza costituisce un circuito a sé. La corrente di linea si suddivide nei tre rami. I simboli A_L, A_1, A_2, A_3 rappresentano degli amperometri come in figura 13 D.

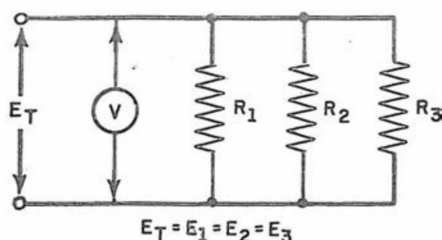


Fig. 16 D - In un circuito in parallelo la tensione applicata ai diversi rami (R_1, R_2, R_3) è sempre la medesima, cioè: ET = la tensione ai capi di R_1, di R_2, di R_3. « V » indica, in questo caso, lo strumento indicatore della tensione, e cioè il « voltmetro ».

allungando il tubo attraverso il quale l'acqua deve scorrere, ossia aumentando la resistenza del tubo stesso.

Se invece — mantenendo la lunghezza originale e la medesima pressione dell'acqua — colleghiamo un altro tubo affiancato al primo (circuito con resistenze in parallelo), ossia in parallelo al primo, l'acqua può percorrere due strade e scorre complessivamente in maggiore quantità; aumentando ulteriormente il numero dei tubi, la resistenza diminuisce sempre più, e, purché la pressione rimanga costante, passa una sempre maggiore quantità d'acqua.

Vediamo un esempio pratico: nel circuito in parallelo della **figura 17 D** ogni resistore oppone 10 ohm di resistenza alla corrente; la tensione è applicata ai capi di ognuno dei rami, quindi si ha una corrente di 1 ampère in ogni resistenza. Tuttavia, quando le correnti si riuniscono, la corrente di linea è di 2 ampère.

Applicando la legge di Ohm al circuito, si ha:

$$\mathbf{Re} = \frac{E_{tot}}{I_{tot}} = \frac{10}{2} = 5 \text{ ohm}$$

ove **Re** sta per **resistenza equivalente**, ossia resistenza totale.

Per cui, la resistenza equivalente di due rami eguali è eguale alla metà di uno dei due. Il circuito ora preso in esame alla figura 17 D è un circuito in parallelo nel quale i rami hanno la medesima resistenza.

Facciamo ora un esempio — sempre riferendoci ad un circuito come da figura 17 D — con altri valori.

Supponiamo che la tensione sia di 12 volt e le resistenze di 6 ohm.

Una tensione di 12 volt provoca una corrente di 2 ampère in una resistenza di 6 ohm ($\mathbf{I = V : R}$); se si collega una seconda resistenza di 6 ohm in parallelo alla prima, anche questa verrà percorsa dalla medesima corrente.

La resistenza equivalente alla combinazione delle due resistenze è data, come abbiamo testè visto, dalla equazione:

$$R = \frac{E}{I}$$

ossia:

$$\mathbf{Re} = \frac{12 \text{ V}}{4 \text{ V}} = 3 \text{ ohm}$$

Se si collegano infine tre resistenze da 6 ohm in parallelo ai capi di una sorgente di 12 volt, la corrente di linea sarà di 6 ampère, e la resistenza totale di 2 ohm, ossia un terzo della resistenza di ognuno dei rami.

È evidente che la resistenza totale o equivalente di diverse resistenze eguali collegate in parallelo, equivale alla resistenza di una sola divisa per il numero delle resistenze: ad esempio, se cinque resistenze da 20 ohm vengono collegate in parallelo, la resistenza equivalente sarà:

$$\mathbf{Re} = \frac{20}{5} = 4 \text{ ohm}$$

È importante ricordare che la resistenza equivalente di un circuito in parallelo « è sempre inferiore » al valore della minore resistenza presente nel circuito.

Vi sono più metodi per determinare la resistenza equivalente di vari circuiti in parallelo; acquistando una certa familiarità con detti metodi, si risparmia molto tempo.

Abbiamo testè spiegato come si determina la resistenza totale o equivalente **Re**, in un circuito formato da resistenze di eguale valore.

Possiamo asserire che uno dei sistemi più semplici per determinare **Re** consiste nell'usare la tensione e la corrente totale con la legge di Ohm, come si è visto, ossia:

$$\mathbf{Re} = \frac{E_t}{I_t}$$

In base a questa equazione anche la corrente di ogni ramo può essere conosciuta se è nota la resistenza del ramo stesso.

La corrente individuale può essere determinata infatti, da:

$$I_1 = \frac{E_t}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E_t}{R_2}$$

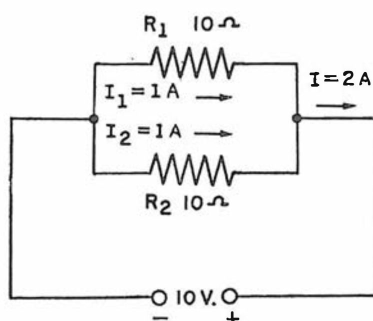


Fig. 17 D - La corrente che la sorgente deve fornire, in un circuito in parallelo, è pari alla somma delle correnti dei diversi rami, cioè $I_t = I_1 + I_2$. Essendo di eguale valore, in questo esempio, le resistenze dei rami, si avrà in essi, eguale corrente (1 ampère).

Metodo della conduttanza

Quando i vari rami di un circuito in parallelo non hanno la medesima resistenza, ci si può servire delle varie conduttanze per determinare la resistenza equivalente.

Poiché in un circuito in parallelo la sorgente può percorrere varie strade o percorsi, si ottiene il medesimo effetto che si otterrebbe aumentando la superficie della sezione del conduttore originale, per cui la corrente che scorre attraverso la resistenza è proporzionale alla conduttività di ogni ramo (**figura 18 D**).

Sappiamo che la conduttanza **G** di un circuito è l'inverso della resistenza, ossia

$$G = \frac{1}{R}$$

il che significa che minore è la resistenza opposta al passaggio della corrente, maggiore è la conduttività ossia la facilità con cui il circuito la conduce.

La conduttanza totale di un circuito in parallelo equivale alla somma delle conduttanze dei vari rami, come segue:

$$G_{totale} = G1 + G2 + ...$$

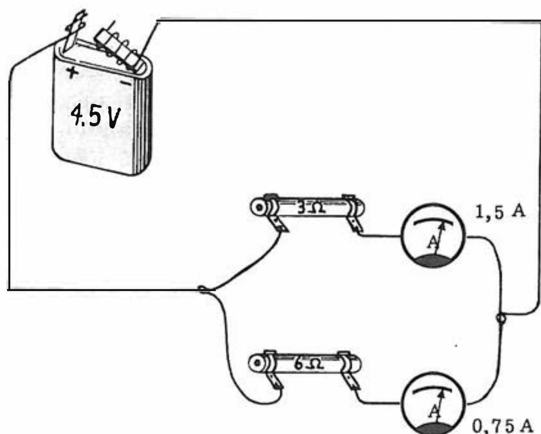
Nel circuito della figura 17 D la conduttanza totale può essere determinata dalla equazione:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Vediamo ora come si ottiene detta equazione applicando la legge di Ohm: poiché

$$I_{tot} = I_1 + I_2$$

in un circuito in parallelo, è possibile sostituire



i valori di corrente secondo la legge di Ohm ($I = E : R$) come nell'equazione seguente, per cui si ha:

$$\frac{E}{Re} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2}$$

e dividendo entrambi i membri dell'equazione per **E** si ottiene:

$$\frac{I}{Re} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} \quad \text{ossia}$$

$$Re = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

quindi, **in un circuito in parallelo, l'inverso della resistenza totale è eguale alla somma dell'inverso delle resistenze di ogni ramo**, ossia la resistenza totale è eguale all'inverso della somma dei reciproci delle singole resistenze.

Poiché la resistenza totale, o equivalente, è minore di ognuna delle resistenze in parallelo tra loro, ne deriva che la corrente di linea è sempre maggiore di quella che passa nel ramo in cui si ha corrente più alta.

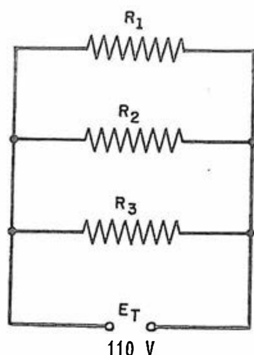


Fig. 19 D - In un circuito in parallelo per trovare il valore della resistenza equivalente si può seguire il metodo della « conduttanza ». In base a tale metodo si deve ricordare che l'inverso della resistenza totale è pari alla somma dell'inverso di ogni singola resistenza. Trovata la resistenza equivalente si può ricavare il valore di corrente totale con la legge di Ohm.

Fig. 18 D - Questo circuito con resistenze in parallelo, dimostra in pratica che la corrente che scorre attraverso un ramo è inversamente proporzionale alla relativa resistenza. Infatti se nella resistenza di 3 ohm scorrono 1,5 A, in quella di valore doppio (6 ohm) ne scorre la metà (0,75 A).

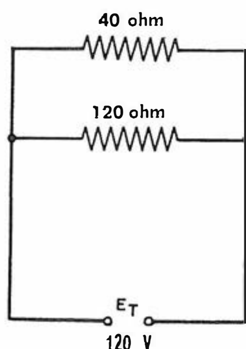


Fig. 20 D - Un altro metodo per ricavare la resistenza equivalente di un circuito con resistenze in parallelo è quello dell'« equazione ». È utile quando gli elementi sono solo due. Il metodo deriva dal fatto che la resistenza equivalente di due resistenze in parallelo è pari al loro prodotto diviso per la loro somma.

Le due equazioni equivalenti, ultime viste, possono essere usate per resistenze sia eguali che disuguali, e sono molto facili da ricordare. Ecco due esempi di impiego.

Trovare la resistenza equivalente (**Re**) e la corrente di linea (I_{tot}) del circuito di **figura 19 D**, se R_1 è eguale a 6 ohm, R_2 è eguale a 12 ohm, R_3 a 18 ohm. Avremo:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{18} = \frac{11}{36}$$

$$Re = \frac{36}{11} = 3{,}27 \text{ ohm}$$

Per ricavare la corrente avremo:

$$I_{tot} = \frac{110 \text{ volt}}{3{,}27 \text{ ohm}} = 33{,}6 \text{ ampère}$$

Trovare la resistenza equivalente, sempre del circuito di figura 19 D se R_1 è 12 ohm, R_2 è 15 ohm ed R_3 è di 20 ohm. Avremo:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{12} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20} = \frac{12}{60}$$

$$Re = \frac{60}{12} = 5 \text{ ohm}$$

Metodo dell'equazione

La resistenza equivalente di un circuito a due rami viene calcolata rapidamente mediante una formula derivante dalla equazione già vista, nel modo che segue. Poiché

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

si ha

$$Re = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

ossia **la resistenza equivalente di due resistenze in parallelo è eguale al loro prodotto diviso per la loro somma.**

Ecco un esempio di impiego.

Trovare la resistenza equivalente e la corrente di ogni ramo di un circuito formato da due resistenze in parallelo di cui una da 40 ohm e l'altra da 120 ohm (**figura 20 D**).

$$\text{Resistenza equivalente} = \frac{40 \times 120}{40 + 120} = 30 \text{ ohm}$$

$$\text{Corrente} \; . \; . \; . \; . \; I_1 = \frac{120}{40} = 3 \text{ ampère}$$

$$\text{Corrente} \; . \; . \; . \; . \; I_2 = \frac{120}{120} = 1 \text{ ampère}$$

Nel problema di cui sopra, si noti che, quando la corrente di linea entra in un nodo di due resistenze in parallelo, si divide tra i due rami in proporzione inversa rispetto alle loro resistenze, ossia la corrente minore scorre nella resistenza più alta, e viceversa.

Si può usare l'equazione ora esaminata, e cioè:

$$Re = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

anche per determinare la resistenza equivalente di un circuito a tre rami, considerando questi ultimi due alla volta.

Per trovare quindi la resistenza equivalente di 10, 20 e 30 ohm in parallelo si trova prima quella di 10 e 20 ohm, ossia

$$Re = \frac{10 \times 20}{10 + 20} = \frac{200}{30} = 6{,}67 \text{ ohm}$$

e quindi la resistenza di 6,67 ohm in parallelo a quella di 30 ohm, ossia

$$Re = \frac{6{,}67 \times 30}{6{,}67 + 30} = \frac{200}{36{,}7} = 5{,}45 \text{ ohm}$$

Una equazione per trovare la resistenza equivalente di tre resistenze in parallelo può essere derivata come segue:

Poiché

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

si ha

$$Re = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

Questo metodo non è però molto utile nei circuiti con più di tre rami, poiché, come si vede, esso comporta molti calcoli aritmetici.

Metodo della tensione fittizia

Il metodo più indicato da seguire per determinare la resistenza equivalente di un circuito in parallelo — e per trovare tutti i valori incogniti — dipende in gran parte dai valori noti a disposizione.

Un sistema semplice, molto utile per coloro che usano il regolo calcolatore, è quello della tensione fittizia, per determinare Re (resistenza equivalente) quando si ignora l'ammontare della tensione applicata.

Sappiamo già che la base della risoluzione dei circuiti in parallelo consiste nell'addizionare le varie correnti per ottenere la corrente di linea, e nel dividere il potenziale per tale valore onde ottenere Re.

Normalmente, la resistenza di un circuito è costante e dipende essenzialmente dai suoi componenti: se si varia la tensione applicata, la corrente varia contemporaneamente, ma non la resistenza. Per questo motivo è possibile stabilire una tensione (fittizia) ed individuare, col suo impiego, le varie correnti che si otterrebbero qualora essa venisse applicata al circuito.

Il rapporto tra la tensione fittizia e la corrente di linea equivale a Re, resistenza equivalente.

Qualunque potenziale può essere assunto a tale scopo, e chi usa il regolo con una certa esperienza, troverà questo metodo molto comodo specie assumendo come valore di tensione il fattore 10 o un suo multiplo; inoltre, per evitare cifre decimali, si può stabilire un valore tale che la corrente che percorre il ramo in cui la resistenza è maggiore, sia compresa tra 1 e 10 ampère.

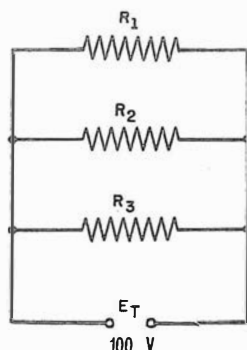


Fig. 21 D - Un terzo metodo, infine, per ricavare la resistenza equivalente di un circuito in parallelo è quello della « tensione fittizia ». Si prende a base una tensione qualsiasi (meglio se a fattore 10 o multiplo di 10) e con essa — applicando la legge di Ohm per ogni ramo — si ricavano le correnti che, sommate, servirano per ottenere « Re ».

È ovvio che le correnti degli altri rami risulteranno maggiori.

Esempio: tre resistenze, R_1 di 15 ohm, R_2 di 20 ed R_3 di 30 sono collegate in parallelo (**figura 21 D**): trovare la resistenza equivalente.

Assunto il valore di 100 per la tensione fittizia, si ha:

$$I_1 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_1} = \frac{100}{15} = 6{,}67 \text{ ampère}$$

$$I_2 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_2} = \frac{100}{20} = 5 \text{ ampère}$$

$$I_3 = \frac{\text{Tensione fittizia}}{R_3} = \frac{100}{30} = 3{,}33 \text{ ampère}$$

$$I_{totale} = 6{,}67 + 5 + 3{,}33 = 15 \text{ ampère}$$

$$Re = \frac{\text{Tensione fittizia}}{I_{totale}} = \frac{100}{15} = 6{,}67 \text{ ohm}$$

Se non si usa il regolo, un'alternativa del metodo consiste nello stabilire una tensione fittizia numericamente eguale al valore della resistenza maggiore.

Nell'esempio precedente, infatti, se si stabilisce la tensione di 30 volt (pari ai 30 ohm della maggiore resistenza), si sa che la corrente attraverso R_3 è di 1 ampère e che quella degli altri due rami è maggiore di 1 ampère.

Il problema può essere sviluppato con tale valore di tensione per controllare il valore Re ottenuto precedentemente.

Circuito in parallelo: analisi

L'aggiunta o la sottrazione di un componente ad un circuito in parallelo provoca una variazione nella corrente di linea, ma non nel potenziale applicato; l'unico limite al numero dei rami è la portata massima di corrente da parte della linea, nonché il carico massimo che la sorgente può sopportare.

Poiché sono ben pochi gli inconvenienti caratteristici dei circuiti in serie riscontrabili in quelli in parallelo, il sistema è particolarmente adatto per la distribuzione dell'energia elettrica.

Se un impianto elettrico fosse del tipo in serie, tutti i dispositivi elettrici dovrebbero essere azionati o spenti contemporaneamente, mentre in un circuito in parallelo, qualsiasi apparecchio elettrico può essere collegato alla linea o tolto dal circuito senza influire sul funzionamento degli altri.

Inoltre, se collegati in serie, tutti gli apparecchi dovrebbero funzionare con la medesima corrente, mentre nel collegamento in parallelo si può alimentare un amplificatore che consuma

1 ampère e contemporaneamente un piccolo ricevitore radio il cui assorbimento sia di soli 0,25 ampère.

Se uno degli apparecchi brucia, e conseguentemente il suo circuito rimane aperto, ciò non paralizza il funzionamento degli altri apparecchi collegati alla medesima sorgente.

Per finire, nemmeno un cortocircuito in un apparecchio potrebbe costituire un pericolo per gli altri collegati in parallelo, pur variandone il funzionamento, a volte interrompendolo addirittura a causa del sovraccarico imposto alla linea.

Quest'ultima normalmente è protetta da tale eventualità a mezzo di dispositivi di sicurezza detti « fusibili », o valvole di interruzione, le quali fondono, interrompendo il circuito, se vengono attraversate da una corrente superiore a quella che devono sopportare in condizioni normali di funzionamento, e, oltre a proteggere la linea, segnalano l'inconveniente all'utente che può così intervenire e provvedere in merito.

Abbiamo già visto simili dispositivi nell'esecuzione idonea alle apparecchiature elettroniche a pagina 19 di questo Corso.

Circuito in parallelo: potenza dissipata

Come nei circuiti in serie, l'equazione della potenza di un circuito in parallelo può essere derivata dalla legge di Ohm.

La potenza dissipata in un circuito è eguale alla somma delle potenze dissipate nei vari rami, come segue:

$$P_{totale} = P_1 + P_2 + P_3$$

Se si conosce la tensione di alimentazione e la corrente di linea, si può usare la seguente equazione:

$$P_{totale} = E_t I_t$$

Se si conosce la corrente di linea e la resistenza equivalente, l'equazione è:

$$P_{totale} = I^2_t \times Re$$

Se si conosce la tensione di alimentazione e la resistenza equivalente invece si ha:

$$P_{totale} = \frac{E^2_t}{Re}$$

Circuiti serie - parallelo

Questo tipo di circuito non è che una combinazione dei due di cui abbiamo parlato precedentemente, e, per risolvere i problemi che gli si riferiscono, logicamente vanno utilizzati i princìpi di entrambi.

Ricordiamo che qualsiasi numero di resistenze in serie può essere sostituito da una sola resistenza avente un valore pari alla somma di tutti gli altri, e che qualsiasi numero di resistenze in parallelo può essere sostituito da una sola resistenza avente un valore pari al valore reciproco della somma dei reciproci delle varie resistenze.

Ad esempio, determiniamo il valore del circuito in **A** di **figura 22 D**.

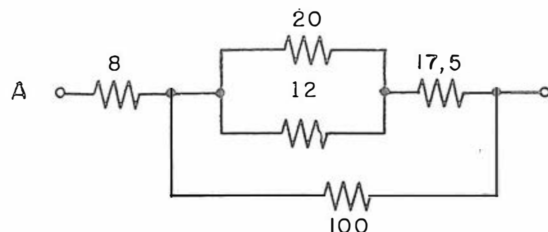
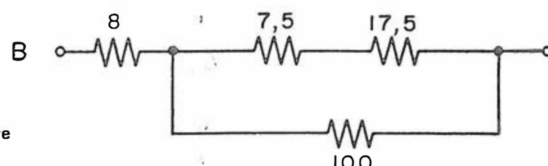


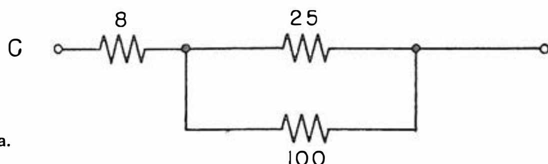
Fig. 22 D - Circuito misto e successivi passaggi del calcolo per ottenere il valore di « Re ».

Le due resistenze, rispettivamente di 20 e 12 ohm in parallelo, possono essere sostituite dal valore di 7,5 ohm come esposto nella sezione **B** della figura stessa; quindi, i due valori



Il valore di 20 ohm e di 12 ohm in parallelo tra loro è di 7,5 ohm per cui una resistenza di tale valore può sostituire le due precedenti.

di 7,5 e 17,5 ohm, in serie, possono essere sostituiti dalla loro somma che corrisponde a 25 ohm, come si vede nella sezione **C**.



Il valore di 7,5 e di 17,5 ohm, in serie tra loro, è di 25 ohm, qui riportato come resistenza unica.

Continuando, i due valori di 25 e 100 ohm in parallelo vengono sostituiti da quello equivalente di 20 ohm della sezione **D**, ed in sezione



Il valore di 20 ohm è l'equivalente dei 25 e 100 ohm precedenti connessi in parallelo tra loro.

E abbiamo la resistenza di 28 ohm (8 e 20 ohm in serie) equivalente pertanto a quella dell'intero circuito della sezione A.



I due valori rimasti (8 e 20 ohm), in serie tra loro formano in totale 28 ohm, che è pertanto il valore resistivo del circuito misto serie-parallelo all'inizio di figura.

In pratica, il circuito misto serie-parallelo è quello che si incontra nella maggior parte dei casi; nella risoluzione, è necessario ridisegnarlo e semplificarlo.

In una prossima lezione ci occuperemo in modo più analitico dei circuiti serie-parallelo che, in effetti, non possiamo più definire circuiti semplici e che perciò analizzeremo sotto la voce di circuiti complessi.

Resistenza della fonte: effetti

Tutte le sorgenti di forza elettromotrice presentano una certa resistenza interna che, agli effetti del circuito si comporta come se fosse inserita in serie con la resistenza propria del carico od utilizzatore.

La resistenza propria della sorgente o generatore, viene generalmente indicata nelle rap-

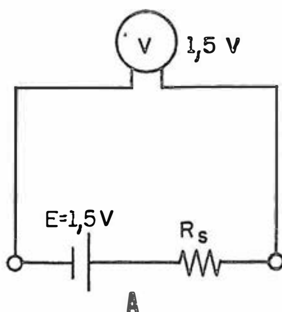
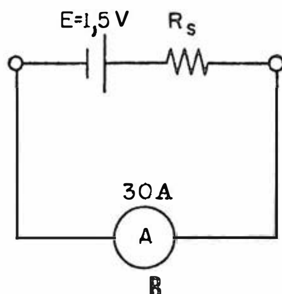
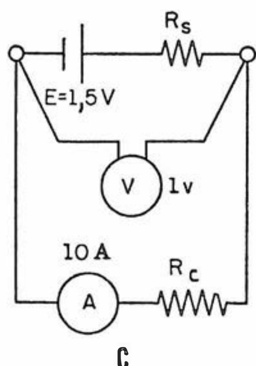


Fig. 23 D - Analisi degli effetti relativi alla presenza della resistenza della sorgente, « Rs », nei confronti della tensione che risulta applicata su una resistenza di carico.
Nella figura sopra: valori a circuito aperto.



Inserendo il carico « A » si leggono su di esso (è un amperometro) 30 A, ciò permette di ricavare, con la legge di Ohm, 0,05 ohm quale valore della resistenza di sorgente.



Se una resistenza « Rc » (carico) viene inserita in circuito, essa avrà ai suoi capi 1 V anziché 1,5 V a causa della caduta di tensione dovuta appunto alla resistenza interna della fonte.

presentazioni schematiche come una resistenza separata, collegata in serie con la sorgente stessa.

Quanto minore è la resistenza della sorgente tanto maggiori sono la tensione e la potenza disponibili sull'utilizzatore.

Gli effetti della resistenza della sorgente, Rs, nei confronti della tensione applicata sul carico possono essere analizzati con l'aiuto della **figura 23 D.**

In **A** della figura il circuito è considerato aperto per cui un voltmetro applicato sui terminali della batteria indicherà il valore di tensione in condizioni di circuito aperto. Nel caso in cui la suddetta batteria sia costituita da una cellula a secco, la tensione a circuito aperto assumerà, come abbiamo visto nella lezione 3ª il valore di 1,5 volt.

Nella sezione **B** della figura la cellula è cortocircuitata attraverso un amperometro che, sotto tali condizioni, indicherà una corrente pari a 3 ampère. In questo caso la tensione della cellula si sviluppa ai capi della resistenza interna della cellula medesima.

Applicando la legge di Ohm, la resistenza interna della cellula si calcola come segue:

$$Rs = \frac{Es}{I} = \frac{1{,}5}{30} = 0{,}05 \text{ ohm}$$

Se un carico, Rc, del valore di 0,10 ohm viene collegato al circuito, come mostra la figura in **C**, la corrente I assume il valore di:

$$I = \frac{Es}{Rc} = \frac{1{,}5}{0{,}15} = 10 \text{ ampère}$$

La tensione disponibile sul carico è:

$$Ec = I\,Rc = 10 \times 0{,}1 = 1 \text{ volt}$$

Mentre la tensione dissipata ai capi della resistenza interna della cellula è:

$$I\,Rs = 10 \times 0{,}05 = 0{,}5 \text{ volt}$$

L'effetto della resistenza interna è dunque quello di far diminuire la tensione presente ai terminali della batteria, da 1,5 volt ad 1 volt quando la batteria stessa fornisce 10 ampère al carico di utilizzazione.

Gli effetti della resistenza della sorgente sulla potenza di uscita di un generatore che fornisce corrente continua possono essere studiati analizzando il circuito di **figura 24 D.**

Con riferimento ad esso, quando la resistenza di carico variabile, Rc, è regolata sulla posizione di zero ohm (equivalente ad un corto circuito) la corrente che circola nel circuito è unicamente limitata dalla resistenza interna, Rs, della sorgente.

La corrente di corto circuito, I, è valutata come segue:

$$I = \frac{Es}{Rs} = \frac{100}{5} = 20 \text{ ampère}$$

Quest'ultimo valore rappresenta la massima

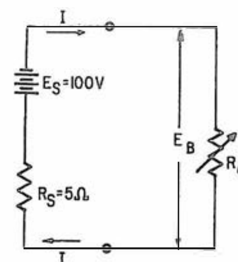


Fig. 24 D - Circuito per l'analisi dell'effetto della resistenza della sorgente sulla potenza di uscita. Si può dimostrare con esso che vi è il maggiore trasferimento di potenza quando resistenza interna e resistenza di carico sono eguali.

intensità di corrente che può essere prelevata dalla sorgente.

La tensione ai terminali della sorgente in condizioni di corto circuito è zero mentre tutta la tensione « cade » ai capi della resistenza presente fra i terminali della sorgente.

Se ora si provvede ad aumentare la resistenza di carico Rc (mentre la resistenza interna della sorgente rimane ovviamente costante), la corrente prelevata dalla sorgente diminuirà. Conseguentemente, la caduta di tensione ai capi della resistenza interna diminuirà anche essa, mentre, contemporaneamente, aumenterà la tensione applicata sul carico che raggiungerà un valore massimo quando detta corrente si ridurrà a zero.

Possiamo dunque introdurre il « teorema del massimo trasferimento di potenza », il quale afferma che:

La massima potenza viene trasferita dalla fonte al carico quando la resistenza presentata da quest'ultimo assume un valore eguale alla resistenza interna del generatore.

Questo teorema è illustrato in forma grafica dai diagrammi riprodotti in **figura 25 D.**

Si osservi, per esempio, che mediante l'impiego dei citati diagrammi, è assai facile e rapido stabilire che, essendo la resistenza interna della fonte nel caso illustrato pari a 5 ohm, eguagliando a tale valore la resistenza di carico si ottiene in quest'ultimo l'utilizzazione della massima potenza, equivalente sotto le condizioni citate a 500 watt.

Il **rendimento** del trasferimento di potenza (rapporto fra la potenza di uscita e quella di ingresso espresso in %) dalla fonte al carico aumenta man mano che cresce il valore della resistenza di carico.

Il rendimento suddetto raggiunge il 100% allorché la resistenza di carico assume un valore relativamente ampio se confrontato con quello della sorgente, poiché — sotto tali condizioni — una minor potenza viene dissipata nella sorgente.

Il rendimento del trasferimento di potenza è soltanto del 50% in corrispondenza del valore di 5 ohm della resistenza di carico (quello appunto che consente il miglior trasferimento di potenza), e raggiunge percentuali assai più basse per valori relativamente inferiori della resistenza di carico nei confronti di quella della sorgente.

Quanto abbiamo affermato conduce a risolvere il problema dell'elevato rendimento e del massimo trasferimento di potenza stabilendo un compromesso fra il basso rendimento del massimo trasferimento di potenza e l'alto rendimento conseguente ad una elevata resistenza di carico.

Quando l'entità di potenza interessata è piuttosto grande ed è contemporaneamente importante l'ottenimento di un elevato rendimento di trasferimento, è opportuno assumere una resistenza di carico di valore relativamente ampio rispetto a quello della resistenza del generatore in modo da mantenere le perdite in limiti ristretti. In tal caso il rendimento sarà elevato.

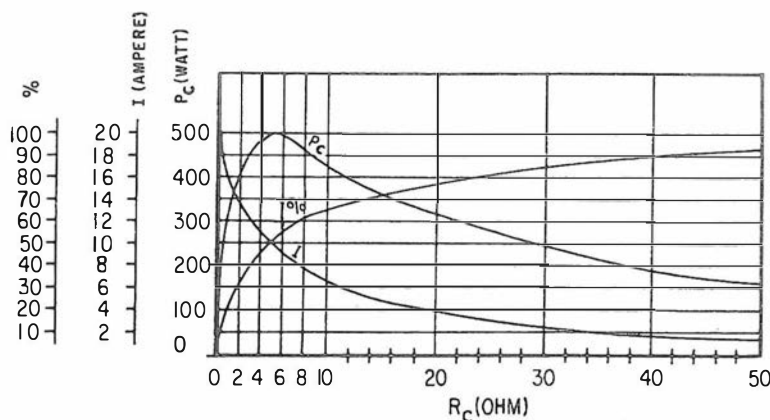
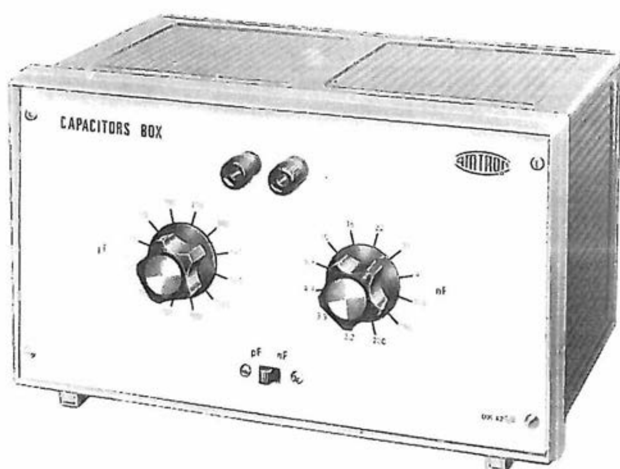


Fig. 25 D - I diagrammi illustrano in forma grafica il cosiddetto teorema del massimo trasferimento di potenza. Il segno % individua la percentuale di potenza trasferita.



Un "Box" di condensatori

per il laboratorio

Valori da 100 pF a 220.000 pF a vostra disposizione con la rotazione di un commutatore. 24 valori diversi (tensione di lavoro 500/600 volt). Collegamento esterno mediante morsetti a bassa capacità.

Nei laboratori sperimentali, come pure in quelli nei quali vengono svolte le attività di assistenza, messa a punto, collaudo, ecc., di apparecchiature elettroniche, la scatola di sostituzione di condensatori in una vasta gamma di valori costituisce uno strumento indispensabile così come lo è l'analoga scatola di sostituzione di resistori.

Quanto sopra può essere intuito assai facilmente, se si considera che accade assai spesso di dover cercare per tentativi il valore capacitivo più idoneo affinché le prestazioni di un determinato circuito risultino soddisfacenti.

In particolare, la possibilità di disporre dello strumento che viene qui descritto si rivela addirittura preziosa quando occorre — in occasione di una riparazione o della messa a punto di un circuito — provare vari valori capacitivi, fino a stabilire quello che maggiormente risponde alle esigenze specifiche, oppure quando occorre sostituire un condensatore resosi difettoso, il cui valore non sia però facilmente identificabile mediante la semplice osservazione di quello deteriorato.

Con la sola rotazione di due commutatori indipendenti, e lo spostamento di un unico deviatore, questa scatola di condensatori permette di disporre di ben 24 diversi valori capacitivi, da un minimo di 100 pF, fino ad un massimo di 0,22 microF (220 nF), scelti con criterio tra quelli ormai standardizzati, ed impiegati nella maggior parte dei moderni circuiti di amplificazione, di oscillazione, di deflessione, ecc.

Le caratteristiche dei suddetti condensatori sono inoltre tali da prestarsi in modo più che adeguato al funzionamento in vari tipi di circuiti, siano essi a valvole o a transistori, grazie alla elevata tensione di lavoro (pari a 500 V per valori fino a 22.000 pF, ed a 600 V per i valori compresi tra 33.000 e 220.000 pF), ed all'alta qualità del dielettrico.

Per quanto riguarda infine l'attività sperimentale, svolta nel campo della sperimentazione di nuovi circuiti e di nuove apparecchiature, usato in abbinamento con una scatola di resistori avente caratteristiche adeguate, questo strumento è di prezioso ausilio.

Può essere adoperato, infatti, per la determinazione dei valori necessari a stabilire una determinata costante di tempo, per la progettazione, la realizzazione e la messa a punto di circuiti oscillanti, filtri selettivi, controlli di to-

no, correttori del responso, circuiti integratori o differenziatori, ecc., grazie soprattutto alla estrema facilità con cui è possibile allestire reti a resistenza e capacità in serie, in parallelo o in serie-parallelo, con componenti variabili.

Lo schema elettrico

Lo schema elettrico completo è illustrato alla **figura 26 D**, che ne mette in evidenza l'estrema semplicità.

Due commutatori rotanti, S1 ed S2, entrambi del tipo a dodici posizioni e senza fermo — vale a dire a rotazione continua — permettono di scegliere in totale ventiquattro diversi valori capacitivi, in progressione tra loro.

Un unico deviatore, contrassegnato SW nello schema, permette di predisporre il circuito sulla gamma dei valori espressi in picofarad (pF), da un minimo di 100 ad un massimo di 1500, oppure sulla gamma dei valori espressi in nanofarad (nF), da un minimo di 2,2 ad un massimo di 220 (*).

Il circuito elettrico dei due commutatori e del deviatore è stato predisposto in modo tale che il cursore di S1 (selettore dei valori minori, espressi in picofarad) faccia capo al lato pF del deviatore, e che il cursore di S2 (selettore dei valori maggiori, espressi in nanofarad) faccia capo invece al lato nF dello stesso deviatore.

Di conseguenza, il deviatore predispone quale selettore venga incluso nel circuito di uscita, a seconda del valore di cui si desidera disporre.

Ciascuno dei condensatori selezionabili (24 in tutto) presenta dunque un terminale facente capo ad un contatto di uno dei due selettori. Tutti gli altri terminali delle ventiquattro capacità sono uniti tra loro lungo una linea comune, facente capo al morsetto di uscita contrassegnato J2. Il morsetto contrassegnato J1 fa invece capo al contatto mobile del deviatore SW, mediante un unico collegamento.

Ne deriva che tra i morsetti di uscita J1 e J2, entrambi isolati dalla massa metallica dell'involucro, è presente una capacità il cui valore potrà essere compreso tra 100 e 1500 pF se SW è nella posizione « pF », oppure tra 2,2 e 220 nF se SW si trova invece nella posizione « nF ».

(*) A tale riguardo, occorre precisare che — per la maggior parte — i tecnici che si occupano di elettronica sono abituati a considerare i valori capacitivi espressi quasi esclusivamente in picofarad (simbolo pF) o micro-microfarad (simbolo µ µ F), oppure in microfarad (simbolo µ F), mentre ben pochi si sono adeguati all'attuale tendenza di usare anche l'unità nanofarad (simbolo nF), che corrisponde a 1000 pF.

Si rammenti perciò che per trasformare un valore espresso in picofarad in un altro espresso in nanofarad, occorre semplicemente dividere il primo per 1000.

Per contro, per trasformare un valore espresso in microfarad in un valore corrispondente espresso in nanofarad, occorre moltiplicare il primo per 1000.

Esempi:

Un valore capacitivo di 2200 pF equivale a:
2200 : 1000 = 2,2 nF (nanofarad).

Un valore capacitivo di 0,15 µ F equivale a:
0,15 × 1000 = 150 nF (nanofarad).

Il montaggio

Grazie alla estrema semplicità dello schema elettrico e della struttura meccanica, il montaggio di questa scatola di condensatori è assi facile, e può essere sintetizzato in quattro fasi principali, e precisamente:

- Allestimento del circuito stampato
- Montaggio del pannello frontale
- Montaggio dell'involucro esterno
- Collaudo.

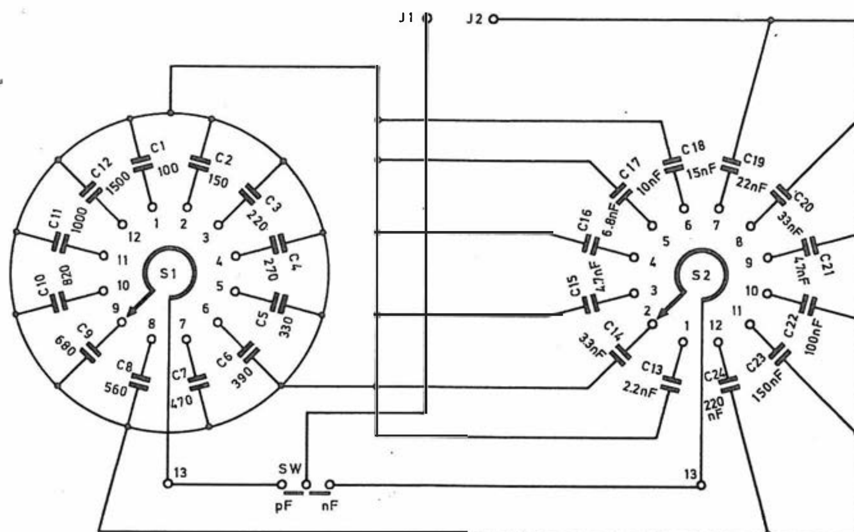


Fig. 26 D - Ai morsetti d'uscita « J1 » - « J2 » si hanno a disposizione i diversi valori a seguito delle commutazioni di S1 o S2 che vengono preventivamente inseriti a mezzo di SW.

Per evitare errori nelle connessioni, è stato previsto ogni possibile accorgimento agli effetti dell'identificazione dei componenti, della loro disposizione, e l'illustrazione delle varie fasi. Oltre a ciò, per rendere ancora più semplice il lavoro di chi realizza la scatola di montaggio, il testo che l'accompagna elenca in ordine progressivo ogni singola operazione, con frequenti riferimenti alle caratteristiche dei componenti e delle relative connessioni, ed ai numeri riportati nelle illustrazioni.

La descrizione di ogni operazione è preceduta da una casella di questo tipo (☐), nella quale il costruttore farà bene a tracciare un segno con una « biro » rossa, a conferma del suo completamento. Alla fine del lavoro di montaggio, durante il necessario controllo, sarà così possibile rivedere il lavoro svolto « voce per voce », tracciando un secondo segno in ciascuna casella, con una « biro » di colore diverso, per confermare l'avvenuto controllo. Con questo sistema, è sempre possibile sospendere il lavoro quando lo si desidera, e riprenderlo in seguito nel punto esatto in cui era stato interrotto.

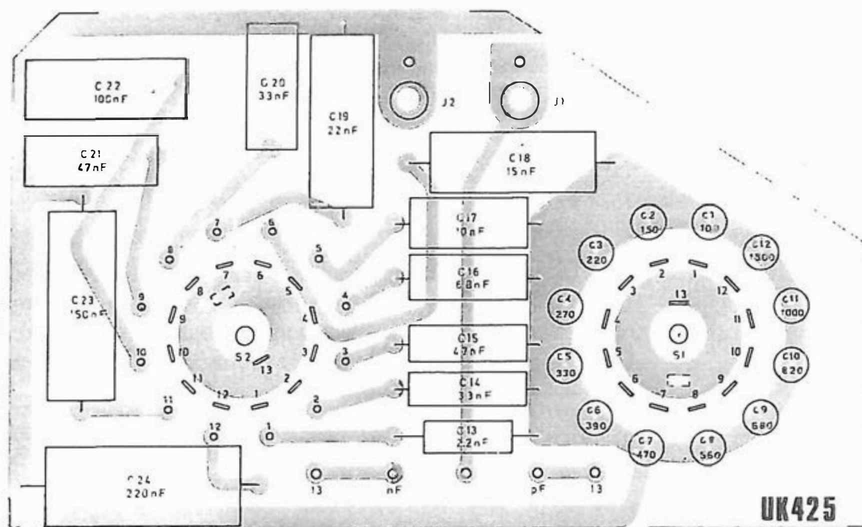


Fig. 27 D - Disposizione dei componenti sulla basetta e piste di collegamento viste per « trasparenza ». La misura reale della basetta è di cm 15,3×9.

Allestimento del circuito stampato

La **figura 27 D** è un disegno che rappresenta l'intera basetta a circuito stampato, vista dal lato sul quale vengono fissati i componenti. Le zone in grigio rappresentano le connessioni stampate. La **figura 28 D** è relativa alla stessa basetta, completa dei collegamenti ulteriori a quelli stampati.

Per prima cosa, è necessario rivedere tutte le fasi del montaggio, spuntando ogni singola casella di riferimento alle diverse operazioni, mediante un segno. In particolare, si controlli con molta cura che ogni condensatore sia stato installato nella sua posizione corretta, verificando le diciture stampigliate in serigrafia sulla basetta a circuiti stampati.

Verificare quindi che tutte le saldature siano state eseguite a regola d'arte, e che non esistano connessioni intermittenti o comunque difettose.

Con l'aiuto di un ohmetro (strumento misuratore di cui ci interesseremo nella prossima lezione, anche ai fini realizzativi) predisposto sulla portata più alta, controllare tutti i condensatori, onde accertare che nessuno di essi presenti una perdita di isolamento attraverso il dielettrico.

Se tutto è in ordine, è possibile alla fine fissare il pannello frontale nella sua posizione all'interno della cornice di cui alla fotografia della pagina di fronte, usufruendo delle apposite quattro viti.

A questo punto il montaggio della scatola di condensatori è completo. Lo strumento deve presentarsi nel modo illustrato dalla foto riprodotta all'inizio, a pagina 20 d.

Impiego

Per l'uso di questa scatola di condensatori non occorrono particolari istruzioni. Basta infatti predisporre il deviatore SW su una delle due posizioni possibili, « pF » o « nF », per inserire rispettivamente S1, per la scelta dei valori capacitivi espressi in picofarad, oppure S2 per la scelta dei valori capacitivi espressi in nanofarad.

La capacità scelta attraverso uno dei due commutatori rotanti è disponibile tra i morsetti di uscita J1 ed J2. Ad essi sarà possibile collegare due cavetti flessibili muniti di apposita banana o di un capocorda, in modo da disporre di due terminali per il collegamento diretto al circuito sotto prova.

Tale collegamento potrà essere effettuato mediante saldatura o mediante contatti provvisori, con l'aiuto di pinzette a coccodrillo, a seconda delle esigenze dell'utente.

Agli effetti dell'impiego razionale di questa scatola di condensatori occorre però rammentare quanto segue:

1) Dovendo eseguire prove o misure con circuiti ad Alta Frequenza, rammentare di contenere entro il minimo possibile la lunghezza dei cavetti di collegamento: essi presentano infatti una loro induttanza ed una loro capacità intrinseche, che possono compromettere l'esito delle prove in misura tanto più pronunciata quanto maggiore è la frequenza.

2) Dovendo eseguire prove o misure con apparecchiature funzionanti a Bassa Frequenza, si rammenti che i cavetti di collegamento — se non sono schermati, con la calza collegata adeguatamente a massa — comportano spesso l'introduzione di rumore di fondo.

3) Dovendo inserire valori capacitivi in circuiti sotto tensione, rammentare sempre che — a meno che la tensione non sia di valore inferiore a 15 V — è sempre opportuno effettuare le connessioni ad apparecchio spento e metterlo sotto tensione dopo l'applicazione delle connessioni tra la scatola ed il circuito sotto prova.

4) Dopo ogni prova, specie se eseguita con le capacità di maggior valore, a partire cioè da un minimo di 22 nF, è sempre utile cortocircuitare i cavetti di prova, e scaricare la capacità

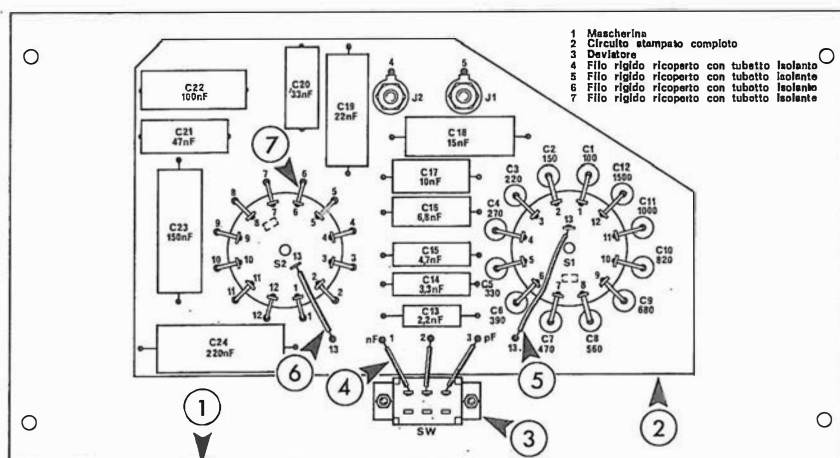


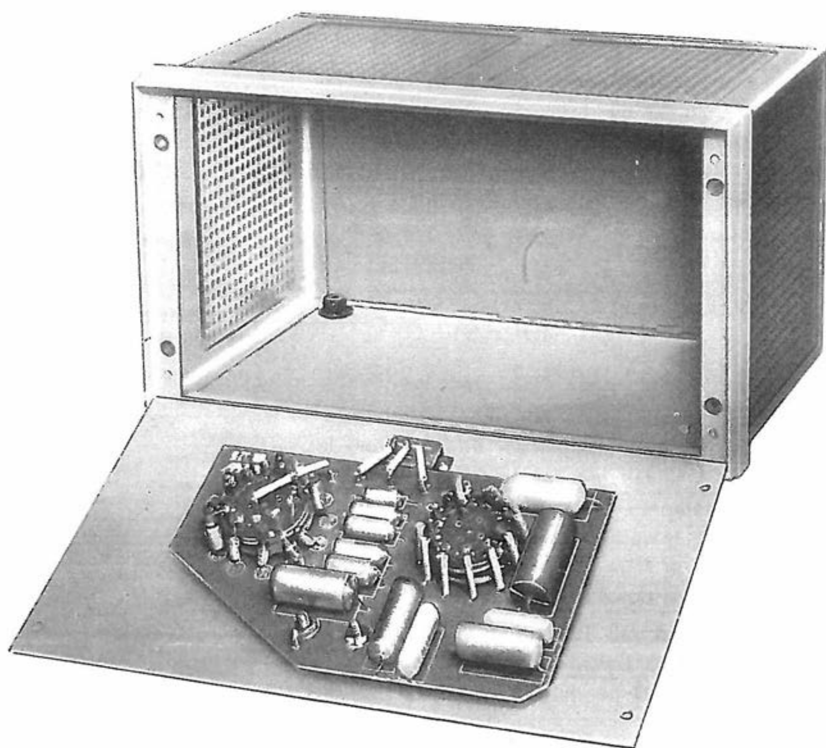
Fig. 28 D - Per terminare il montaggio, dopo di aver completato la basetta a circuiti stampati, occorre collegare la stessa ai commutatori. Necessitano i collegamenti qui indicati, con S2, S1 e SW.

sottoposta a tensione. Si eviterà in tal modo la sorpresa di una piccola ma sgradevole scossa elettrica toccando con la mano entrambi i terminali dei cavetti di prova.

A realizzazione ultimata, questo strumento potrà rivelarsi di prezioso aiuto per qualsiasi attività di laboratorio, in particolare nel campo delle riparazioni e della sperimentazione di nuovi circuiti.

Disponendo eventualmente di due o più scatole di questo tipo; e di una o più scatole di resistenze, è assai facile allestire sperimentalmente circuiti di vario tipo, così come si è detto all'inizio. Una volta ottenute le prestazioni volute, non resta che realizzare il circuito con componenti discreti di valore corrispondente, semplificando così nel modo più razionale il lavoro di ricerca del risultato migliore.

La durata è ovviamente di un periodo di tempo illimitato, senza alcuna necessità di manutenzione, fatta eccezione per la periodica eliminazione della polvere che inevitabilmente si accumula all'interno, e della pulizia dei contatti dei commutatori.



Magnetismo ed elettromagnetismo

È a tutti nota la particolare caratteristica offerta dalle cosiddette « calamite » e cioè la possibilità che esse hanno di esercitare una forza di attrazione sul ferro, sul nichel e sul cobalto.

Questa forza di attrazione viene detta **magnetismo** e **materiali magnetici** vengono definiti i materiali citati sui quali la forza ha effetto: **magnete** è, con termine più appropriato, la calamita.

I magneti entrano a far parte di molti dispositivi elettrici di uso corrente, basti citare, l'altoparlante, la cuffia, alcuni tipi di microfoni e gli strumenti di misura.

Un ago di acciaio, magnetizzato nel modo che descriveremo in seguito, ha due punti di massima attrazione, situati precisamente alle sue estremità; al centro, l'attrazione è invece nulla. I punti in cui l'attrazione è massima vengono denominati **poli magnetici** e in ogni magnete essi sono almeno due.

Se l'ago magnetizzato viene sospeso in modo che possa ruotare liberamente su un piano orizzontale (poggiato, ad esempio, su di un perno nel suo punto di centro oppure posato su un leggero supporto galleggiante su di un liquido) esso tende ad assumere una posizione diretta approssimativamente lungo l'asse Nord-Sud, in modo tale che, in corrispondenza dei due poli terrestri, si hanno sempre i medesimi poli magnetici. Quello dei due poli che punta verso il Nord si chiama polo Nord, e viceversa. Questa caratteristica è quella sfruttata per realizzare il noto strumento di orientamento detto « bussola ».

Intorno ad una semplice barra magnetizzata esiste sempre un **campo magnetico**, che consiste di linee immaginarie lungo le quali agisce la forza magnetica; esse vengono emanate dal polo Nord, e ritornano al polo Sud attraverso lo spazio circostante per raggiungere nuovamente il polo di origine attraverso il magnete stesso: in tal modo si forma un circuito magnetico chiuso.

Per **circuito magnetico** si intende perciò **un percorso definito, lungo il quale si manifestano le linee di forza create dalla forza magnetica.** Tale percorso è costituito in massima parte da materiale magnetico atto a permettere la presenza delle linee.

Essenzialmente, il circuito magnetico è analogo al circuito elettrico, attraverso il quale passa una corrente elettrica sotto l'influenza della forza elettromotrice. Così pure può rilevarsi l'analogia col campo elettrostatico di cui si è detto a pagina 11 c.

I magneti possono essere divisi in due categorie: **magneti naturali**, che, allo stato naturale, si trovano sotto forma di un minerale detto « magnetite » e **magneti artificiali.**

Questi ultimi sono costituiti da acciaio temperato (o da speciali leghe appositamente studiate, ad esempio acciaio con nichel, cobalto

ecc.) e vengono magnetizzati artificialmente una volta per sempre (« magneti permanenti »). Oppure sono formati da nuclei di ferro dolce intorno al quale si trovano degli avvolgimenti di conduttore isolato, i quali, allorché vengono percorsi da corrente (« elettromagneti ») magnetizzano il nucleo stesso: detta magnetizzazione cessa però col cessare della corrente.

Magneti naturali

Già molti secoli fa, fu noto che alcuni minerali (ad esempio la magnetite: Fe_3O_4) hanno la caratteristica di attirare dei piccoli pezzi di ferro, e, dal momento che gran parte di questi minerali furono trovati in prossimità della località di Magnesia, in Asia Minore, i Greci definirono il materiale col nome di Magnetite.

I magneti naturali furono in seguito trovati anche negli Stati Uniti, in Norvegia ed in Svezia; la **figura 29 D** ne mostra in « A » l'aspetto generico.

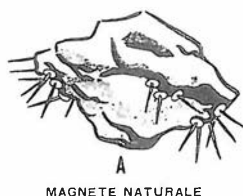
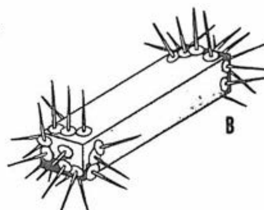


Fig. 29 D - Frammento di materiale costituente un magnete naturale.



Magnete artificiale in acciaio, nichel o lega di entrambi.

Magneti artificiali

Dal punto di vista pratico i magneti naturali furono ben presto soppiantati dai magneti artificiali costituiti da acciaio e da leghe speciali, come ad esempio l'Alnico, formato principalmente da alluminio, nichel e cobalto, ed il cui nome è derivato dalle iniziali dei nomi dei metalli che lo compongono (Al-ni-co). La figura 29 D mostra in « B » un magnete artificiale.

Una barra di ferro, di acciaio o di lega magnetica, può essere magnetizzata mediante l'inserimento in una bobina avvolta con filo isolato, attraverso la quale viene fatta passare una forte corrente continua come è illustrato nella sezione « A » della **figura 30 D**; in seguito vedremo più dettagliatamente come ciò si verifichi.

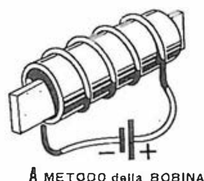


Fig. 30 D - Magnetizzazione dell'acciaio mediante un adatto campo elettromagnetico.

La medesima barra può essere magnetizzata anche portandola a contatto con un'altra barra già magnetizzata, come è illustrato nella sezione « B » della figura 30 D; in questo caso la barra da magnetizzare assume, dopo il contatto, le medesime proprietà magnetiche di quella già magnetizzata, ossia ai suoi capi si formano due poli di attrazione.

Tale processo permette la realizzazione di un magnete permanente mediante induzione: il magnetismo può venire facilmente indotto e cioè trasmesso in una barra grazie alla influenza di un secondo magnete.



Sistema di magnetizzazione per contatto con un altro magnete.

I magneti o calamite artificiali possono essere classificati come « permanenti » o « temporanei », a seconda che abbiano o meno la possibilità di mantenere l'energia magnetica anche dopo la cessazione della forza originale che l'ha prodotta.

L'acciaio temperato ed alcune leghe sono relativamente difficili da magnetizzare e vengono dette « a bassa permeabilità » in quanto le linee magnetiche di forza non si propagano facilmente in essi — in altre parole — non si distribuiscono rapidamente attraverso il materiale. Tuttavia, una volta magnetizzato, il materiale a bassa permeabilità conserva la maggior parte dell'energia magnetica acquisita, e costituisce perciò un magnete permanente.

I magneti permanenti vengono usati ampiamente, come abbiamo già detto, in varie applicazioni nel campo dell'elettronica.

In modo analogo, ma contrario, tutti i materiali che si prestano facilmente alla magnetizzazione, come ad esempio il ferro dolce e l'acciaio al silicio ricotto, vengono detti « ad alta permeabilità ».

Essi mantengono soltanto una piccola parte dell'energia magnetica non appena è cessata la forza che l'ha indotta, per cui vengono denominati magneti temporanei.

L'acciaio al silicio ed altri materiali affini vengono impiegati per la costruzione dei trasformatori, nei casi cioè in cui l'energia magnetica varia continuamente, come pure nei generatori e nei motori nei quali la forza dei campi magnetici può essere variata rapidamente.

Il magnetismo che rimane in un magnete temporaneo in seguito alla rimozione dell'energia magnetizzante viene detto « magnetismo residuo », ed il fatto che una piccola quantità rimanga acquista un ruolo molto importante in quanto permette di creare — come vedremo — delle tensioni in generatori di corrente cosiddetti auto-eccitati.

Natura del magnetismo

Secondo una teoria — detta **teoria di Weber** sulla natura del magnetismo — si suppone che ogni molecola del magnete sia in se stessa un piccolo magnete; tutte le molecole che costituiscono una barra non magnetizzata sono disposte a caso, come è illustrato nella sezione **a** della **figura 31 D**.

In tale condizione l'energia magnetica sviluppata da ognuna di esse viene neutralizzata da quella sviluppata nelle molecole adiacenti; per questo motivo, esternamente non si produce alcun effetto magnetico. Ma, allorché a tale barra viene applicata una forza magnetizzante, le molecole si allineano in modo che tutti i poli Nord si dirigono nella medesima direzione, e tutti i poli Sud in direzione opposta; vedi sezione **b** della figura.

Se una barra magnetica viene spezzata in diverse parti, come è illustrato alla **figura 32 D**, ognuna di esse diventa un magnete completo, i cui poli hanno la medesima direzione dei poli

originali: se ognuna di queste parti viene ulteriormente divisa, si formano altrettanti piccoli magneti la cui polarità mantiene sempre il medesimo orientamento.

Se tale suddivisione potesse essere continuata all'infinito, si otterrebbero parti sempre più piccole ognuna delle quali avrebbe le caratteristiche di un magnete, fino a raggiungere le dimensioni di una molecola: è quindi logico supporre che ogni molecola sia un magnete.

Un'ulteriore giustificazione di tale presupposto risulta dal fatto che, quando una barra magnetica viene mantenuta in una direzione diversa da quella del campo magnetico terrestre e viene ripetutamente battuta, riscaldata o esposta ad un potente campo magnetico applicato e tolto a rapidi intervalli, l'allineamento molecolare viene distrutto, ed il magnete si smagnetizza.

Ad esempio, gli strumenti elettrici di misura perdono la loro precisione se i magneti permanenti in essi contenuti perdono una parte del loro magnetismo a causa di urti violenti o di una eventuale esposizione ad un campo magnetico opposto.

Una delle teorie sul magnetismo forse più adeguata ancora di quella molecolare, è la cosiddetta **teoria del « dominio »**, la quale viene espressa come segue.

In una sostanza magnetica i magneti « atomici » prodotti dal movimento planetario rotatorio degli elettroni intorno al nucleo hanno una notevole tendenza ad allinearsi in gruppi di 10^{14} a 10^{15} atomi pur senza l'influenza di un campo magnetico esterno.

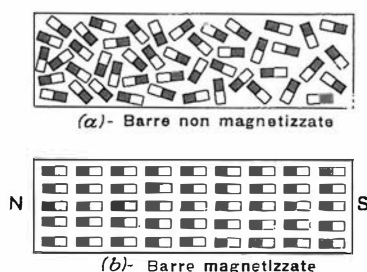


Fig. 31 D - Le molecole di una sostanza magnetica, non magnetizzata, sono altrettanti magneti orientati a caso. In seguito alla magnetizzazione essi si orientano nel medesimo senso, per cui i rispettivi campi si sommano e, integrandosi, determinano la forza totale disponibile in pratica.

Tali gruppi di atomi, i cui poli sono orientati nella medesima direzione, vengono chiamati « dominî ». In ogni « dominio » si produce pertanto un intenso campo magnetico. Detti campi hanno normalmente un orientamento casuale per cui non si verificano effetti magnetici esterni finché la sostanza è un tutto smagnetizzato.

Poiché ogni piccolo dominio (10^{6} di essi possono essere contenuti in un millimetro cubo) ha sempre il massimo grado di magnetizzazione, l'aggiunta di un campo magnetico esterno non può aumentarne la magnetizzazione intrinseca.

Tuttavia, se al materiale si applica un campo

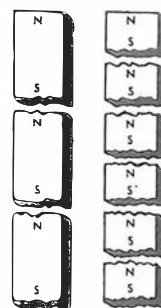


Fig. 32 D - Dividendo una barra magnetica si ottengono magneti più corti, con polarità alterne.

magnetico esterno che aumenta progressivamente, i dominî si allineano uno per uno (o a gruppi) col campo esterno.

La **figura 33 D** riproduce graficamente l'andamento (normale curva) di magnetizzazione nei confronti della forza del campo magnetico applicato: se il campo magnetico viene aumen-

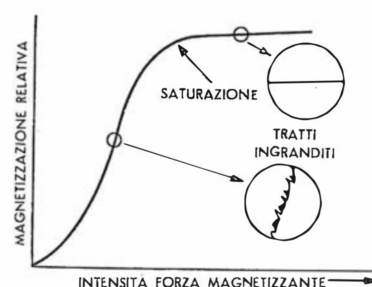


Fig. 33 D - Curva di magnetizzazione di un magnete artificiale, in funzione della forza magnetizzante. Come si può notare, oltre un certo valore non si ha più aumento della intensità magnetica.

tato di piccolissime quantità e l'aumento di magnetizzazione corrispondente viene osservato in dettaglio, si può notare che la curva è molto irregolare fino al punto di saturazione.

Il motivo di tale irregolarità è dovuto al fatto che i dominî si allineano soltanto in seguito alla applicazione di una forza magnetizzante apprezzabile, per cui si verifica una serie di aumenti di magnetizzazione improvvisi, man mano che i vari dominî, o i loro vari gruppi, subiscono l'influenza della forza esterna raggiungente il dovuto grado di intensità.

In altre parole, con l'aumentare della forza magnetizzante in maniera graduale, si può verificare un intervallo nel quale non esiste un apprezzabile aumento di magnetizzazione, dopo di che quest'ultima aumenta però rapidamente in quanto un maggior numero di dominî viene ad allinearsi.

Tali aumenti improvvisi ed irregolari continuano fino al punto di saturazione, ossia fino al punto in cui tutti i dominî risultano allineati nella direzione della forza esterna.

Campi magnetici e linee di forza

Se una barra magnetica viene immersa nella limatura di ferro, gran parte di quest'ultima viene attratta dalle estremità del magnete stesso, mentre nessuna particella viene attratta dal centro: come abbiamo già accennato precedentemente, tali estremità, ove l'attrazione è massima, vengono denominati « poli ».

Mediante l'uso di una bussola è possibile osservare la direzione della forza magnetica nei vari punti in prossimità del magnete in quanto lo stesso ago della bussola in questione è un magnete. Il suo polo Nord si metterà sempre in direzione del polo Sud, S, come è illustrato dalla **figura 34 D**, per cui si ottiene una indicazione esatta della direzione nei confronti della polarità del magnete.

Quando la bussola si trova al centro della barra, l'ago assume una posizione parallela alla barra stessa: mentre, se viene posta successivamente in punti diversi, l'ago si allinea col campo magnetico della barra corrispondente ad ogni posizione. La direzione del campo è indicata dalle frecce e rappresenta la direzione nella quale punterà l'ago non appena la bussola entrerà nel campo magnetico.

Le linee lungo le quali detto ago si dispone vengono denominate **linee magnetiche di forza**, le quali, come abbiamo detto precedentemente, si presume siano emanate dal polo Nord dopo di che ritornano al punto di origine passando attraverso lo spazio circostante e quindi rientrano nel magnete dal polo Sud. La **figura 35 D** illustra la distribuzione delle linee di forza di un magnete foggiato nella classica forma a ferro di cavallo.



Fig. 34 D - Mediante una bussola è possibile determinare la polarità di un magnete: il polo Nord dell'ago dello strumento è infatti sempre rivolto verso il polo Sud del magnete.

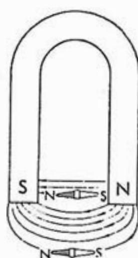


Fig. 35 D - Distribuzione delle« linee di forza » in un tipico magnete a ferro di cavallo; con la bussola si possono determinare le polarità.

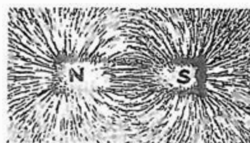
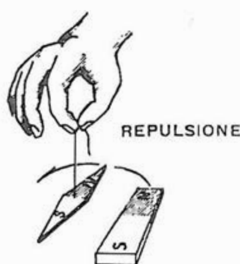


Fig. 36 D - Con una lastra di vetro, posta sopra il magnete, sulla quale sia stata depositata limatura di ferro, si può osservare la distribuzione delle linee di forza.

Fig. 37 D - Dimostrazione dell'attrazione dei poli opposti, e della repulsione dei poli analoghi, mediante un magnete permanente fisso ed uno libero di ruotare intorno ad un asse.



I due poli Nord si respingono.



I due poli Sud si respingono.



Polo Nord e polo Sud si attraggono.

Lo spazio che circonda un magnete e nel quale agiscono le linee di forza magnetiche si chiama, come sappiamo, « campo magnetico »; Michele Faraday fu il primo scienziato che ne rese l'idea descrivendolo come un campo in stato di tensione costituito da linee di forza uniformemente distribuite.

Il complesso di dette linee costituisce il flusso magnetico che può essere paragonato, come già detto, alla corrente in un circuito elettrico.

Il numero delle linee di forza in funzione dell'unità di superficie viene denominato **densità di flusso** e viene misurato in linee per centimetro quadrato mediante la seguente formula:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

nella quale **B** è la densità di flusso, **Φ** (lettera greca: fi) è il numero totale delle linee di flusso ed **A** è la sezione trasversale del circuito magnetico.

Se **A** è espressa in cm^2, **B** è espressa in « linee per cm^2 » ossia in **gauss.**

Nei testi moderni ricorre spesso sia il termine « flusso » che il termine « passaggio di energia magnetica », tuttavia non si ritiene che il magnetismo sia una corrente di particelle in movimento, bensì un semplice campo di energia esteso nello spazio.

Il numero di linee di forza per unità di superficie può essere misurato facendo ruotare una piccola spira di filo ad una velocità costante in presenza di un circuito magnetico, in modo tale che detta spira tagli le linee di forza che costituiscono il campo: in questo caso si genera nel filo della spira una tensione proporzionale alla densità del flusso magnetico tagliato.

È possibile ottenere una rappresentazione ottica del campo magnetico appoggiando su una calamita una lastra di vetro sulla quale si distribuisce poi della limatura di ferro. Essa si sistema lungo linee visibili tra i poli, che dimostrano la via seguita dal campo magnetico intorno al magnete stesso, come è illustrato alla **figura 36 D.**

Il campo magnetico che circonda un magnete di forma simmetrica ha le seguenti proprietà:

1 - il campo è simmetrico, a meno che non venga deformato da un'altra sostanza magnetica;

2 - le linee di forza hanno una loro direzione, tale che esse escono dal polo Nord ed entrano nel polo Sud;

3 - l'ago di una bussola posta in qualsiasi punto nel campo magnetico subisce sempre una deflessione tale che il terminale Nord punta costantemente nella direzione delle linee di forza (cioè verso il polo Sud);

4 - la maggiore intensità del campo si verifica in prossimità delle superfici dei poli, e diminuisce con l'aumentare della distanza dagli stessi.

Leggi di attrazione e repulsione

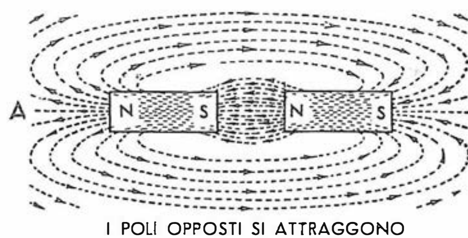
Se un ago magnetizzato viene sospeso in prossimità di una barra magnetica, come si vede nella **figura 37 D**, si nota che il polo Nord viene respinto dal polo Nord del magnete, ed analogamente tale repulsione si verifica tra i rispettivi poli Sud: tuttavia, i poli opposti si attraggono reciprocamente, dal che è facile dedurre le prime due leggi di attrazione e di repulsione, ossia:

— **Prima legge**: i poli magnetici analoghi si respingono a vicenda.

— **Seconda legge**: i poli magnetici opposti si attraggono a vicenda.

La **figura 38 D** illustra la direzione del flusso nel caso di poli analoghi e di poli opposti adiacenti. Le linee non si incrociano tra loro in nessun punto e si comportano anzi in modo tale come se si respingessero a vicenda.

La **terza legge** dell'attrazione e della repul-



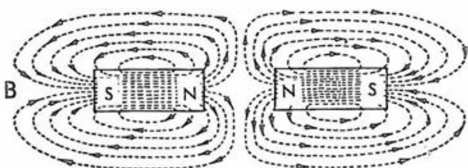


Fig. 38 D - Direzione delle linee di forza di magneti adiacenti con polarità opposta (A) e con polarità analoga (B).
Nel primo caso i due circuiti magnetici si integrano.

sione magnetica stabilisce in effetti che la forza di attrazione o di repulsione esistente tra due poli magnetici diminuisce rapidamente man mano che detti poli si allontanano tra loro.

In realtà, « la forza di attrazione o di repulsione varia in maniera direttamente proporzionale al prodotto delle forze dei rispettivi poli ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra di essi », purché detti poli siano abbastanza piccoli da poter essere considerati come dei punti.

Ad esempio, se la distanza tra due poli Nord viene aumentata da due a quattro centimetri, la forza di repulsione tra di essi diminuisce ad un quarto del valore originale. Se entrambe le intensità magnetiche vengono raddoppiate e la distanza rimane la medesima, la forza tra i poli viene raddoppiata.

Conduttori e campo magnetico

Nel 1819 il fisico danese Hans Christian Oersted trovò che esiste una relazione definita tra il magnetismo e l'elettricità, e scoprì che una corrente elettrica è accompagnata da fenomeni magnetici i quali obbediscono a leggi definite.

Se si pone la bussola in prossimità di un conduttore percorso da corrente, l'ago si dispone ad angolo retto rispetto al conduttore, denunciando così la presenza di una forza magnetica. Tale presenza può essere constatata facendo passare una corrente elettrica attraverso un conduttore posto verticalmente e attraversante un pezzo di cartone orizzontale come è illustrato alla **figura 39 D**.

L'intensità e la direzione della forza vengono determinate ponendo una bussola nei vari punti del pezzo di cartone, ed osservando la deflessione dell'indice. Si suppone che la direzione della forza sia corrispondente alla direzione del polo Nord dell'ago; le deflessioni dimostrano l'esistenza di un campo magnetico circolare intorno al conduttore.

Quando la corrente scorre verso l'alto, la direzione del campo è in senso orario (osservando dall'alto) ma se si inverte la polarità della tensione in modo che la corrente scorra verso il basso, la direzione del campo è in senso antiorario.

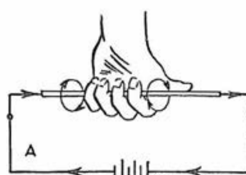


Fig. 40 D - Determinazione della direzione delle linee di forza di un conduttore con la regola della mano sinistra.

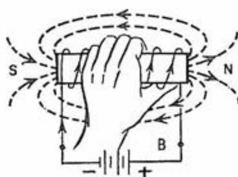


Fig. 41 D - Determinazione della direzione delle linee di forza di un elettromagnete.

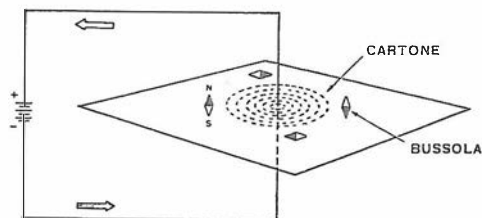


Fig. 39 D - Mediante l'uso di una bussola è possibile constatare l'esistenza, e determinare la direzione, del campo magnetico creato da un conduttore percorso da una corrente elettrica.

La relazione tra la direzione delle linee magnetiche di forza intorno ad un conduttore e quella del passaggio di corrente attraverso quest'ultimo può essere determinata mediante una regola così detta « regola della mano sinistra per un conduttore ».

Avvolgendo le dita della mano sinistra attorno al conduttore in modo che il pollice sia rivolto nella direzione del flusso della corrente (dal — verso il +) le altre dita risulteranno volte ad indicare la direzione delle linee di forza (vedi **figura 40 D**).

È opportuno notare che dette linee circondano il cavo, ma non vi penetrano né se ne allontanano in alcun punto, e che lungo il conduttore stesso non esistono poli magnetici.

Se il conduttore è avvolto in modo da formare una bobina, la corrente che lo percorre crea un notevole campo magnetico all'interno di quest'ultima. Inoltre se viene messo all'interno della bobina un corpo magnetico, come ad esempio l'acciaio, il campo magnetico stesso diventa ancora più intenso.

Un conduttore avvolto a spire, come sappiamo, prende il nome di **bobina**, **solenoide**, o **induttore** e lo abbiamo già visto impiegato nei circuiti accordati (pagina 31).

Le linee magnetiche del flusso circondano ogni singola spira dell'avvolgimento, esattamente come abbiamo visto si verifica nei riguardi di un conduttore diritto. Le linee di flusso circolari si uniscono al centro dell'induttore e producono l'intenso campo di cui si è detto (**figura 41 D**).

Nello spazio interposto in ogni coppia di spire adiacenti, esse hanno la medesima intensità ma opposte direzioni, per cui tendono ad annullarsi a vicenda, e poche linee, se non nessuna, escono dalla bobina tra le spire.

Come è illustrato dalla figura, le linee di forza della bobina passano attraverso il centro dell'indotto, escono da una estremità, e, attraverso un percorso esterno, raggiungono l'altra estremità.

Dette linee mostrano l'evidente formazione di due poli alle estremità, di cui un polo Nord nel punto in cui emergono, ed un polo Sud nel punto in cui entrano. La rispettiva polarità —

nonché la direzione delle linee — vengono determinate dalla direzione delle correnti e dal senso di avvolgimento del conduttore.

Un metodo per determinare la polarità di un solenoide è il seguente: impugnare la bobina con la mano sinistra (vedi figura), in maniera che le dita si estendano nel senso del passaggio della corrente in ogni spira, in tal modo il pollice esteso indicherà la direzione che è relativa al polo Nord.

Le leggi di attrazione e di repulsione dei poli di un solenoide sono identiche a quelle esistenti tra i poli dei magneti, o calamite.

Numero di spire e corrente: effetti

L'intensità del campo (ossia l'ammontare del flusso che si addensa al centro di una bobina) nel caso illustrato alla **figura 42 D**, può essere aumentata, aumentando il numero delle spire della bobina, o aumentando la corrente che la percorre, o, infine, aumentando entrambi.

Detto flusso può anche essere aumentato usando come nucleo un materiale che permetta il passaggio del flusso stesso con maggiore facilità; l'effetto del nucleo ferro-magnetico sulla intensità del campo verrà considerato in seguito.

Nel caso di una bobina con nucleo in aria il flusso è direttamente proporzionale alla corrente che la percorre ed al numero delle spire, ed il prodotto della corrente in ampère e di detto numero, è il cosiddetto **fattore ampère-spire** della bobina stessa.

Supponiamo, ad esempio, che 1000 ampère-spire producano nell'aria l'intensità magnetica desiderata: tra le tante possibilità per raggiungere detto valore, saranno sufficienti ad esempio 50 spire percorse da una corrente di 20 ampère, oppure 500 spire percorse da 2 ampère, o ancora 1000 spire percorse da 1 ampère, e così via.

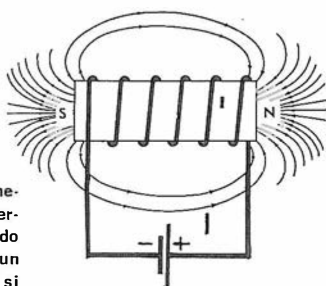


Fig. 42 D - Aumentando il numero di spire di una bobina percorsa da corrente, aumentando la corrente, o introducendo un nucleo magnetico all'interno, si aumenta l'intensità del campo da essa prodotto.

Schermatura magnetica

Non esistono isolanti veri e propri per il flusso magnetico. Se un materiale non magnetico viene immerso in un campo magnetico, il flusso non subisce variazioni apprezzabili, esso penetra cioè nel materiale stesso.

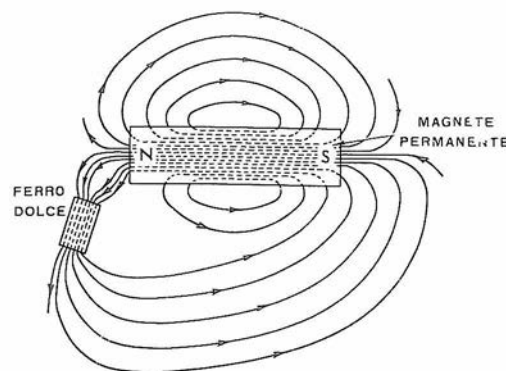


Fig. 43 D - La presenza di un corpo di materiale magnetico (ferro dolce) in un campo magnetico, determina una deviazione delle linee di forza che si avvantaggiano della maggiore permeabilità del materiale inserito.

Ad esempio, se inseriamo una lastra di vetro tra i poli di una calamita a ferro di cavallo, il campo magnetico non subisce alcuna variazione sebbene dal punto di vista elettrico il vetro sia un buon isolante.

Se invece si immerge nel campo un materiale magnetico (come ad esempio, il ferro dolce), il flusso varia la sua direzione avvantaggiandosi della maggiore permeabilità del materiale inserito, come è illustrato nella **figura 43 D.** Con ogni probabilità in tal caso il flusso subirà sempre un incremento, mai, certamente, una diminuzione.

I dispositivi sensibili degli apparecchi elettrici e degli strumenti di misura che adottano per il loro funzionamento conduttori, bobine ecc., percorse dalla corrente, possono essere influenzati da campi magnetici estranei i quali possono causare perciò letture errate.

Dal momento che non è possibile effettuare un isolamento protettivo, è necessario ricorrere a dei ripieghi per deviare i flussi esterni: si colloca ad esempio, attorno allo strumento, un involucro di ferro dolce, detto « schermo magnetico ».

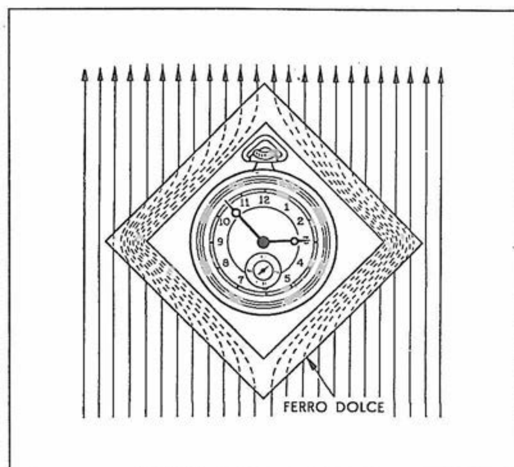


Fig. 44 D - Per proteggere un oggetto dai campi magnetici si può racchiuderlo in un involucro di materiale magnetico, che assorbe e devia le linee di forza.

Poiché il flusso si espande nel ferro con maggiore rapidità ed intensità che non nell'aria contenuta all'interno di detto involucro, lo strumento può essere considerato come isolato dal flusso esterno: questo fenomeno è illustrato alla **figura 44 D** nella quale viene rappresentato un orologio racchiuso in uno schermo di ferro dolce e l'andamento di un flusso magnetico esterno.

Analogia con la legge di Ohm

La legge che governa la determinazione del flusso nei circuiti magnetici è analoga a quella. a noi nota, che governa il passaggio della corrente nei circuiti elettrici.

Il **flusso magnetico**. Φ è paragonabile alla corrente nella legge di Ohm, e consiste nella quantità delle linee di forza del flusso presente nel circuito magnetico.

Il maxwell è l'unità di misura del flusso, nel senso che una linea di forza equivale ad 1 maxwell: tuttavia, spesso tale unità viene definita come una linea di forza, o una linea induttiva, o, più semplicemente, una linea.

La forza magnetomotrice, **F** o **f.m.m.**, paragonabile alla forza elettromotrice nella legge di Ohm, è la forza che determina la presenza delle linee di flusso.

La sua unità di misura è l'ampère-spira.

La **riluttanza R**, paragonabile alla resistenza nella legge di Ohm, « è l'opposizione offerta al flusso da parte del circuito magnetico ».

L'unità di misura della riluttanza non è ancora stata espressa ufficialmente; tuttavia è stato proposto il **rel** (rappresentato dalla lettera **R**), « indicante la riluttanza offerta da un centimetro cubo d'aria ».

La riluttanza di una sostanza magnetica varia in proporzione diretta con la lunghezza del circuito magnetico, ed inversa nei confronti della sezione trasversale e della permeabilità della sostanza stessa, il che viene espresso dalla formula

$$R = \frac{L}{\mu A}$$

nella quale **L** è la lunghezza in centimetri, ed **A** l'area della sezione in centimetri quadrati (cm^2).

Un'altra unità della forza magnetomotrice spesso usata è il **gilbert**, rappresentato dalla lettera **F.**

« Il gilbert è la forza necessaria per determinare 1 maxwell in un circuito magnetico avente una unità di riluttanza, ossia 1 rel ». La forza magnetomotrice in gilbert può essere espressa in funzione del fattore ampère-spira, come segue

$$F = 1{,}257\ IN$$

nella quale **F** è in gilbert, **L** in ampère, ed **N** è il numero di spire avvolte intorno al circuito magnetico.

L'unità di intensità della forza magnetizzante per unità di lunghezza è espressa mediante la lettera **H**, ed a volte viene intesa in gilbert per centimetro, il che può essere espresso dalla formula

$$H = \frac{1{,}257\ IN}{L}$$

nella quale **L** è la lunghezza in centimetri.

La permeabilità viene rappresentata dalla lettera greca μ (Mu), e di essa ci occuperemo più dettagliatamente in seguito; tuttavia, è opportuno darne già una definizione allo scopo di facilitare al lettore il compito di comprendere meglio la legge che segue (legge di Rowland) e le sue applicazioni pratiche.

« La permeabilità » è dunque « la misura dell'attitudine da parte di una sostanza a condurre », ossia ad ospitare, « le linee di forza », in riferimento all'attitudine a far ciò presentata dall'aria.

La permeabilità dell'aria è perciò considerata pari ad 1.

La permeabilità viene espressa come il rapporto tra la densità di flusso in linee per cm^2 (gauss, ossia **B**) e l'intensità della forza magnetizzante in gilbert per centimetro di lunghezza, indicata da **H**. Ciò è espresso dalla formula

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Secondo la legge di Ohm, la corrente è direttamente proporzionale alla tensione applicata ed inversamente proporzionale alla resistenza offerta dal circuito. Ciò, come è noto, è espresso dalla formula

$$I = \frac{R}{E}$$

La **legge di Rowland** pèr i circuiti magnetici stabilisce analogamente che « il numero delle linee di flusso magnetico, in maxwell, Φ, è direttamente proporzionale alla forza magnetomotrice, in gilbert (**F**) ed inversamente proporzionale alla riluttanza, **R**, offerta dal circuito ».

Esprimendo quanto sopra con formula si ha:

$$\Phi = \frac{F}{R}$$

L'analogia tra la legge di Ohm e la legge di Rowland è evidente.

Un altro termine usato per i circuiti magnetici è la **permeanza.**

Viene indicata dalla lettera **P**, ed è l'inverso della riluttanza, ossia

$$P = \frac{1}{R}$$

« La permeanza » è paragonabile alla conduttanza nei circuiti elettrici, ed è definita come « la caratteristica dei circuiti magnetici che permette alle linee di forza di percorrerli ».

In altre parole detto parametro magnetico costituisce semplicemente una misura della facilità associata al flusso, di trasferirsi da un polo all'altro del magnete attraverso il traferro. Quanto più elevato è il valore della permeanza, tanto più facile risulta il percorso del flusso, e maggiore la sua densità.

Noti il lettore che la permeanza non è funzione del materiale costitutivo del magnete, ma è strettamente dipendente dalla forma geometrica del circuito magnetico.

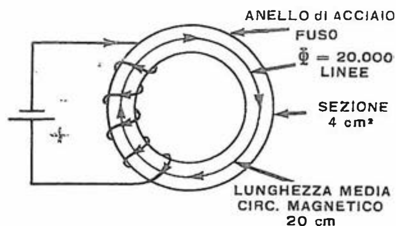


Fig. 45 D - Determinazione (vedi testo) degli ampère-spire necessari per produrre un flusso di 20 000 linee di forza in un circuito magnetico dalle caratteristiche riportate sul disegno.

Diamo ora un esempio pratico della legge di Rowland. Supponiamo che si debbano calcolare gli ampère-spire necessari per produrre 20.000 linee di forza in un anello di acciaio fuso avente una sezione trasversale di 4 centrimetri quadrati, ed una lunghezza media di 20 centimetri. Vedi **figura 45 D.**

La densità di flusso **B** viene calcolata mediante la formula

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{20.000}{4} = 5.000 \text{ linee/cm}^2$$

e, da apposite tabelle, ricaviamo che il valore di **H** per l'acciaio fuso è pari a 3,9. La formula che permette di calcolare **H** è, come abbiamo visto

$$H = \frac{1,257\ IN}{L}$$

dalla quale si ricava

$$IN = \frac{HL}{1,257}$$

sostituendo ad **H** il valore 3,9 e ad **L** il numero 20, si ha

$$IN = \frac{3,9 \times 20}{1,257} = 62 \text{ ampère/spire}$$

Proprietà dei materiali magnetici

Se al posto dell'acciaio fuso si usano delle lamine di acciaio ricotto, si ottiene una magnetizzazione più intensa in quanto la permeabilità è maggiore grazie alla maggiore facilità di propagazione delle linee di forza.

Il rapporto tra il flusso prodotto da una bobina su un nucleo di ferro (o altra sostanza) e quello prodotto dalla medesima bobina — mantenendo costante la corrente — quando il nucleo è solo aria, costituisce la **permeabilità** del ferro o di quella sostanza.

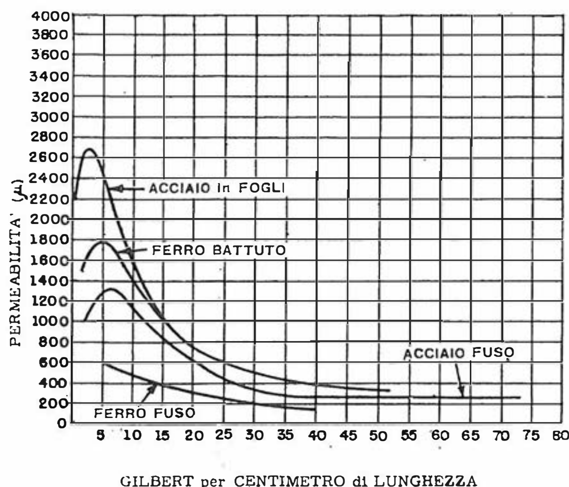


Fig. 46 D - Curve di permeabilità di diversi materiali magnetici.

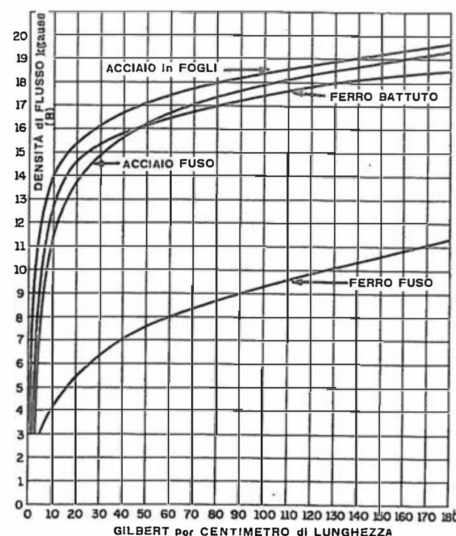


Fig. 47 D - Curve di magnetizzazione di diversi materiali magnetici.

Essa è dunque la misura della attitudine da parte di una sostanza a condurre le linee di forza magnetica, ossia è la misura della conduttività magnetica di quella sostanza.

Si è detto che la permeabilità dell'aria è 1; si può affermare che tale è anche il valore di permeabilità delle sostanze non magnetiche, come ad esempio il legno, l'alluminio, il rame, l'ottone, ecc.

La permeabilità dei materiali magnetici varia col variare del grado di magnetizzazione, ed è minima per alti valori di intensità di flusso (**figura 46 D**).

I grafici riportati in **figura 47 D** riproducono le curve di magnetizzazione dei quattro materiali magnetici dei quali in figura 46 D sono date le curve di permeabilità.

L'isteresi

Per ben comprendere il concetto di **isteresi** si osservi la **figura 48 D**, che rappresenta appunto un ciclo o comportamento di isteresi relativo ad un materiale qualsiasi.

In essa la forza magnetizzante è indicata in gilbert per cm di lunghezza lungo le direzioni positiva e negativa dell'asse **H**, mentre la densità di flusso è rappresentata in gauss lungo le direzioni positiva e negativa dell'asse **B**.

L'intensità **H** della forza magnetizzante — applicata mediante una bobina percorsa da corrente intorno al materiale in esame — viene variata uniformemente durante un ciclo di funzionamento dopo essere partita da zero: in altre parole, la forza magnetizzante viene aumentata in senso positivo (per una data direzione di flusso della corrente nella bobina), fino ad un

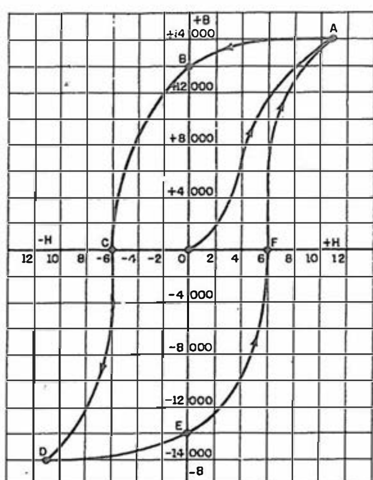


Fig. 48 D - Esempio di «ciclo di isteresi» di un materiale magnetico ottenuto aumentando e diminuendo la forza magnetizzante. Si constata un «magnetismo residuo» che viene ridotto a zero con una «forza coercitiva».

massimo di 11 gilbert/cm. Durante tale tempo, la densità di flusso, **B**, sale da zero a 14.000 nel punto **A**.

Se **H** viene fatta ritornare progressivamente a zero, la curva della densità di flusso non ritorna al medesimo valore seguendo cioè in discesa il medesimo percorso seguito per la salita, bensì raggiunge il punto **B** corrispondente alla densità di 13.000. Il flusso magnetico indicato dalla lunghezza della linea **0 B** rappresenta l'inerzia della sostanza magnetica.

«Tale retenzione o coercibilità è dovuta all'attitudine del materiale stesso a conservare una certa magnetizzazione una volta cessata la causa che l'ha prodotta»; è massima nell'acciaio temperato e minima nel ferro dolce.

Il valore del magnetismo residuo quando **H** è è stata ridotta a zero, dipende dalla sostanza in questione e dalla densità di flusso raggiunta. Nel nostro caso, il magnetismo residuo ammonta a 13.000 gauss.

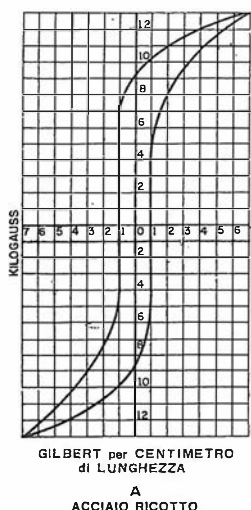
Se ora facciamo passare attraverso la bobina una corrente in senso opposto a quello prima adottato, in modo tale cioè che l'intensità della forza magnetizzante raggiunga il valore di **— H**, si vedrà che detta forza deve raggiungere il valore corrispondente al punto **C** prima che il magnetismo residuo si riduca a zero.

La quantità di forza magnetizzante necessaria per ridurre a zero il magnetismo residuo, individuata dal tratto **0 C** della curva, costituisce la **forza coercitiva.** Nel nostro caso, essa ammonta a 6 gilbert per cm.

Se in seguito, tale forza viene aumentata a — 11 gilbert per cm, la curva scende da **C** a **D**, magnetizzando il materiale con polarità opposta alla precedente.

Se la forza magnetizzante viene poi riportata nuovamente a zero, la densità di flusso raggiunge il punto **E**. Il flusso magnetico rappresentato dal tratto **0 E** indica ancora l'inerzia del materiale così come era indicato dal tratto **0 B**; il magnetismo residuo ammonta nuovamente a 13.000 gauss.

Il ciclo si ripete se la corrente viene nuovamente invertita, per cui la magnetizzazione segue nel suo ciclo quella della corrente che la produce, ma — come risulta dall'analisi testè compiuta — con un certo ritardo causato dall'attrito tra le molecole.



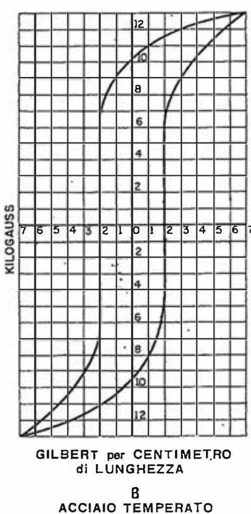


Fig. 49 D - Confronto tra le curve di isteresi dell'acciaio ricotto (sopra) e quelle dell'acciaio temperato. In quest'ultimo caso si ha maggiore perdita per isteresi (maggiore area tra le due curve).

Se l'inversione della magnetizzazione è lenta, la perdita di energia può essere trascurabile, mentre se essa avviene rapidamente (caso della corrente che inverte rapidamente la sua polarità, detta corrente alternata), può verificarsi la perdita di una considerevole quantità di energia, specie nel caso dell'acciaio temperato.

Un altro fattore che determina le perdite per isteresi è la densità massima di flusso che viene stabilita nel materiale magnetico in questione.

La **figura** 49 **D** illustra un confronto tra le curve di isteresi dell'acciaio ricotto e dell'acciaio temperato. L'area compresa da ognuna di esse costituisce la misura di energia dispersa per ogni ciclo di operazione, dal che si nota che nell'acciaio temperato l'attrito tra le molecole costituisce una perdita maggiore.

È quindi importante che nei trasformatori e negli altri dispositivi analoghi si usi un materiale con basse perdite per isteresi.

Il tipo di curva di isteresi che abbiamo illustrato si applica a qualsiasi materiale magnetico indipendentemente dalla sua natura costitutiva.

Si noti che i materiali magnetici che posseggono una debole forza coercitiva possiedono anche una debole energia, quelli, al contrario, cui è associata una elevata forza coercitiva sono classificati come ad alta energia e costituiscono i così detti magneti permanenti.

I materiali magnetici a debole energia, noti generalmente come materiali «dolci» vengono impiegati per quelle applicazioni che prevedono la possibilità di magnetizzazione e di successiva smagnetizzazione mediante la regolazione di una sorgente esterna di energia.

L'impiego più significativo dei materiali magnetici dolci è quello relativo, per esempio, alla costruzione dei nuclei dei trasformatori elettrici, ove è appunto desiderabile attuare — come vedremo particolarmente in apposita lezione futura — un'ampia variazione di stato magnetico semplicemente applicando una debole forza di magnetizzazione.

Noti il lettore che l'area compresa e definita dalla curva che rappresenta e descrive il ciclo di isteresi, rappresenta la dissipazione termica nel nucleo del trasformatore ed anche l'energia che deve essere spesa per provocare lo spostamento dei domini nella struttura magnetica, ragione per cui, per l'applicazione citata è opportuno disporre di un materiale non solo facilmente magnetizzabile, ma anche smagnetizzabile con altrettanta facilità.

Il particolare andamento generico della curva di isteresi consente di concludere che l'energia richiesta per magnetizzare un corpo qualsiasi è equivalente a quella necessaria per smagnetizzarlo.

Ciò significa che nel caso di magneti permanenti è auspicabile che essi presentino un ampio ciclo di isteresi, in quanto l'ampiezza di detto ciclo rappresenta la quantità di energia che il magnete può immagazzinare.

La curva di smagnetizzazione

Il lettore avrà probabilmente notato che la porzione del ciclo di isteresi situata al di sotto dell'asse delle ascisse (sul quale, come è noto, sono espressi i valori della forza magnetizzante), è esattamente simmetrica alla porzione situata al di sopra del medesimo asse.

Questa particolare caratteristica rappresenta semplicemente una situazione di polarità opposta, oppure di inversione del senso della forza di magnetizzazione.

Nel caso di magneti permanenti ciò può essere ignorato. La porzione del grafico di isteresi contenuta nel primo quadrante (vale a dire nello spazio definito dalla semiretta che reca i valori positivi delle ascisse e da quella che reca i valori positivi delle ordinate) è applicabile soltanto quando il magnete si trova già in stato di magnetizzazione e quando non ha alcuna importanza il comportamento a magnete permanente dopo una fase iniziale di magnetizzazione.

Ciò significa che soltanto una porzione di grafico di isteresi, vale a dire quella contenuta nel secondo quadrante (spazio definito dalla semiretta che reca i valori positivi delle ascisse, e dalla semiretta che reca quelli negativi delle ordinate) e che viene detta « curva di smagnetizzazione », può descrivere completamente e compiutamente le caratteristiche magnetiche di un magnete permanente.

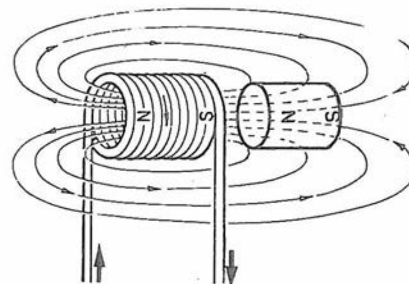


Fig. 50 D - Un corpo di materiale magnetico si magnetizza, per le linee di forza di un campo adiacente (bobina) con polarità opposta a quella del campo stesso, per cui viene attratto da quest'ultimo.

Nel caso del ferro dolce, non appena la corrente magnetizzante cessa, la maggior parte dei magneti atomici torna a disporsi con un orientamento disordinato, per cui si smagnetizza, mentre, nel caso dell'acciaio temperato, la maggior parte di essi conserva l'orientamento acquisito in seguito alla magnetizzazione, e per questo fatto il materiale diventa un magnete permanente.

Negli elettromagneti si usa o il ferro dolce o altri materiali aventi un'alta permeabilità ed una bassa inerzia.

Si è constatato sperimentalmente che un pezzo di ferro dolce viene attratto con egual forza da entrambi i poli di una calamita, e che — analogamente — tale attrazione viene esercitata anche da parte di una bobina percorsa da corrente, se entrambi sono orientati come illustrato dalla **figura 50 D**.

Come si nota da tale figura, le linee di forza si estendono nel ferro dolce e lo magnetizzano per induzione, e, dal momento che i poli opposti si attraggono, il nucleo viene attirato all'interno della bobina: ne consegue che, se detto nucleo è libero di muoversi, esso tende a portarsi al centro della bobina stessa.

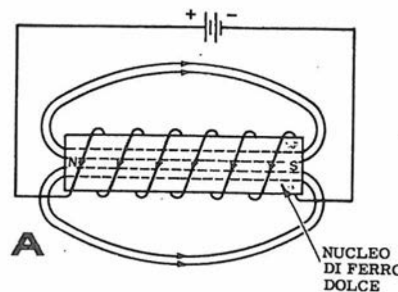
Elettromagneti

Per elettromagnete si intende un nucleo di ferro dolce intorno al quale è avvolta una bobina: quando quest'ultima viene percorsa da corrente continua, come abbiamo già visto, il nucleo si magnetizza con la medesima polarità che avrebbe il campo magnetico in assenza del nucleo, e, se la corrente inverte la sua direzione, si inverte anche il campo magnetico.

L'aggiunta del nucleo all'interno di una bobina compie due funzioni: innanzitutto il flusso diventa più intenso grazie alla maggiore permeabilità rispetto a quella dell'aria, ed in secondo luogo detto flusso è enormemente concentrato.

Il flusso che si sviluppa internamente alla bobina esercita la sua influenza sulle molecole del nucleo e quindi sui « dominî », a noi ormai noti, costringendoli ad allinearsi.

Tale fenomeno si verifica in egual maniera se il nucleo viene avvicinato al campo di un altro magnete invece di essere influenzato da una bobina.



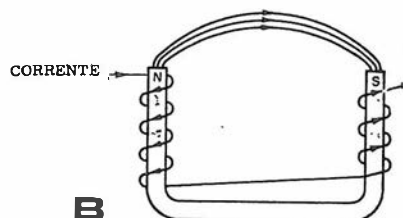


Fig. 51 D - Due esempi tipici di elettromagneti. In A è rappresentato un tipo con nucleo lineare, ed in B un tipo con nucleo foggiato ad « U ». Si noti la diversa distribuzione delle linee di forza esternamente al circuito magnetico che si verifica con due percorsi nel primo caso e su percorso unico nel secondo.

La **figura 51 D** illustra due tipici esempi di elettromagneti. È ivi posta in evidenza la differente distribuzione delle linee di forza.

L'ELETTRONICA

IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

Corrente continua

5



RADIO - TRANSISTORI - CIRCUITI INTEGRATI - Hi-Fi - ANTENNE - TRASMISSIONE - APPLICAZIONI VARIE

Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - —70% - Lire 750

Elettricità per effetto magneto-meccanico

Ora che abbiamo visto che cos'è il magnetismo possiamo esaminare una delle sue più importanti applicazioni: quella lo vede utilizzato nella produzione di energia elettrica.

I circuiti elettrici che richiedono per il loro funzionamento una quantità di energia maggiore di quella che può essere fornita dalle normali batterie, vengono alimentati mediante energia ricavata da macchine elettriche rotanti dette « generatori ». Così avviene infatti per gli impianti di illuminazione, per i motori di notevole potenza e per gli apparati in genere che richiedono una quantità di energia di gran lunga superiore a quella ottenibile mediante l'uso di batterie di produzione commerciale.

Le citate macchine rotanti o generatori, possono fornire quantità di energia che vanno da modesti limiti a diverse migliaia di chilowatt di potenza.

Un generatore di corrente è in effetti una macchina rotante che converte l'energia meccanica in energia elettrica.

Tale conversione viene ottenuta mediante la rotazione di una armatura munita di conduttori, in un campo magnetico che induce una f.e.m. nei conduttori dell'armatura stessa: affinché ciò sia possibile è indispensabile un movimento del conduttore rispetto al campo magnetico o viceversa; in seguito a tale movimento il conduttore taglia le linee di forza del campo magnetico stesso.

Nella maggior parte dei generatori di corrente l'armatura costituisce la parte rotante detta **rotore**, mentre la sorgente del campo magnetico costituisce la parte stabile o fissa, detta **statore.**

L'albero — o asse del rotore — è soggetto ad una forza esterna che ne determina la rotazione, e, non appena la rotazione ha inizio, l'energia motrice determina una differenza di potenziale ai capi dell'avvolgimento presente nel rotore, ossia una tensione utilizzabile per alimentare un circuito esterno.

L'energia meccanica deve essere applicata costantemente all'albero del generatore, finché si desidera che quest'ultimo eroghi una determinata quantità di energia.

La potenza necessaria alla rotazione del rotore viene prelevata da una sorgente detta primaria, la quale può essere costituita da una turbina, da un motore a nafta o Diesel, oppure a benzina, o da una macchina a vapore, e — nei mezzi di locomozione semoventi — può essere prelevata mediante ingranaggi dal motore del moto, come avviene nel caso dell'automobile, della nave, o dell'aeroplano.

La produzione della f.e.m. ha luogo, come si è detto, dal movimento relativo del conduttore rispetto al campo magnetico: la quantità dell'energia indotta dipende da tre fattori:

1) intensità del campo magnetico;

2) lunghezza del conduttore, ossia il numero delle spire ed il diametro del conduttore allorché esso è avvolto sotto forma di bobina;

3) velocità con la quale detto conduttore taglia il campo magnetico, ossia la velocità con cui il rotore ruota nel campo.

Tutte le caratteristiche costruttive nel progetto di un generatore devono essere tali da bilanciare le relazioni che intercorrono tra questi tre fattori.

Generatori di corrente continua

Principi di funzionamento

La **figura 1 E** illustra il principio di funzionamento di un generatore di c. c.

Una spira di filo conduttore viene fatta ruotare nel campo magnetico costituito dalle due espansioni polari contrassegnate S ed N (ossia Sud e Nord), nel senso indicato dalla freccia. La parte della spira segnata in neretto è collegata al segmento semicilindrico nero, mentre la parte segnata a tratto doppio è collegata al segmento semicilindrico bianco.

Tali segmenti sono isolati tra loro; essi costituiscono un commutatore che reca su due lati opposti due spazzole di contatto fisse, ognuna delle quali viene a trovarsi successivamente in contatto con i segmenti semicircolari, man mano che la spira ruota intorno al proprio asse.

La parte rotante del generatore di c.c. si chiama **armatura**, e la produzione di c.c. avviene nel modo seguente:

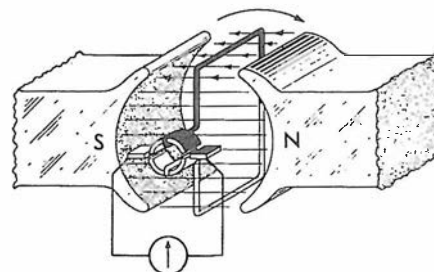


Fig. 1 E - Principio fondamentale del generatore di corrente continua. La corrente viene prodotta a seguito della rotazione di una spira del conduttore in un campo magnetico, e prelevata mediante due spazzole in contatto con i capi della spira.

1) nella posizione A della **figura 2 E**, la spira ruota in senso orario, e nessuna linea di forza viene da essa tagliata, per cui non si ha alcuna f.e.m. indotta. Si noti che entrambi i segmenti semicilindrici stanno iniziando il contatto con le spazzole del rispettivo colore, ma restano tuttavia, in tale momento, anche in contatto con il segmento di colore opposto;

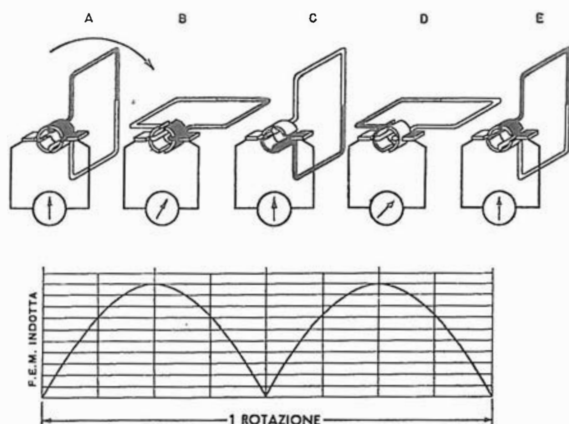


Fig. 2 E - Andamento della tensione prodotta dal generatore.
Come si vede, ad ogni rotazione di 180 gradi della spira corrisponde un'ondulazione.

2) nella posizione B le linee di flusso vengono tagliate perpendicolarmente, per cui la f.e.m. indotta raggiunge l'ampiezza massima. Entrambe le spazzole sono in contatto con i segmenti aventi rispettivamente il medesimo colore; l'indice dello strumento che denota il passaggio di corrente si sposta verso destra indicando la polarità della tensione di uscita;

3) nella posizione C, la spira ha completata una rotazione di 180°. In questa posizione la spira non taglia alcuna linea di forza: la f.e.m. indotta è nulla.

È importante notare, nella posizione C, il comportamento reciproco delle spazzole e dei segmenti, in quanto, con una rotazione di 180°, la spazzola si trova nuovamente tra il segmento bianco e quello nero — a contatto cioè con entrambi — esattamente come la spazzola bianca posta sul lato diametralmente opposto; non appena il rotore ha superato leggermente i 180° di rotazione, la spazzola nera resta a contatto col semicilindro bianco, e quella bianca solo col semicilindro nero.

Grazie all'azione di commutazione determinata dallo spostamento relativo dei segmenti rispetto alle spazzole, quella nera è sempre in contatto con la parte della spira rotante che si muove dall'alto verso il basso, mentre la spazzola bianca è sempre in contatto diretto con la parte che si muove dal basso verso l'alto.

Sebbene, in effetti, la corrente inverta la sua direzione nella spira, l'effetto del commutatore rotante fa in modo che la corrente scorra nel circuito esterno — ossia in questo caso, nello strumento — sempre nella medesima direzione.

Il grafico riportato in basso nella figura 2 E illustra l'andamento della tensione erogata dal generatore durante una rotazione completa.

Ricapitolando, la corrente che scorre nel conduttore che costituisce il rotore inverte la sua direzione ogni 180° di rotazione, ma l'azione combinata del commutatore rotante e delle spazzole fa in modo che la corrente esterna abbia una direzione ossia polarità, costante.

Nell'istante in cui ognuna delle spazzole è in contatto con entrambi i segmenti del commutatore (posizioni A, C ed E nella figura 2 E) si produce un cortocircuito tra i due segmenti.

Se, in quell'istante si verificasse una f.e.m. indotta, si avrebbe nell'avvolgimento il passaggio di una notevole corrente che potrebbe danneggiare il commutatore; per questo motivo le spazzole devono essere sistemate in posizioni tali che il contatto con entrambi i segmenti si verifichi soltanto quando la f.e.m. indotta è nulla, ossia nella posizione denominata « piano neutro ».

Ondulazioni

La tensione prodotta dal generatore tipico ora descritto varia in ampiezza tra 0 ed il suo valore massimo, due volte durante ogni rotazione completa del rotore (vedi figura 2 E).

Queste variazioni di ampiezza della tensione costituiscono le cosiddette « ondulazioni »; esse possono essere ridotte mediante l'uso di un numero maggiore di spire rotanti — ossia di bobine — come è indicato nelle **figure 3** e **4 E.**

Con l'aumentare del numero degli avvolgimenti del rotore, l'ammontare della variazione tra il valore minimo ed il valore massimo della tensione d'uscita diminuisce, e quest'ultima tende ad assumere le caratteristiche di una vera e propria corrente continua.

Nelle figure 3 e 4 E si nota che il numero dei segmenti di contatto che costituiscono il commutatore rotante aumenta con l'aumentare del numero degli avvolgimenti; in altre parole, i segmenti sono due per un avvolgimento, quattro per due avvolgimenti, sei per tre avvolgimenti, e così via.

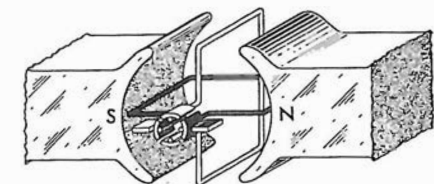
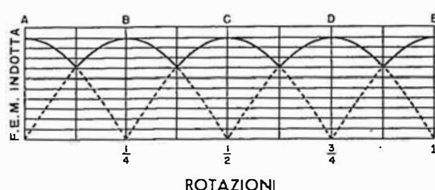


Fig. 3 E - Installando due spire tra loro perpendicolari in luogo di una sola, si determinano per ogni rotazione completa quattro impulsi distinti di corrente anziché due.



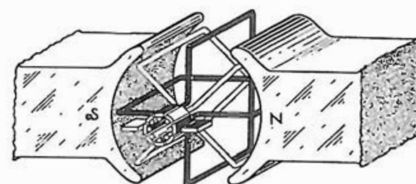
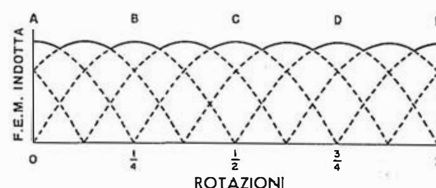


Fig 4 E - Aumentando ulteriormente il numero delle spire distribuite su vari piani passanti per l'asse, la tensione prodotta, e quindi la corrente, tende a diventare pressoché continua, ossia a perdere la forma di ondulazioni individuali.



Tensione d'uscita

La tensione indotta in un rotore costituito da un'unica spira è molto piccola; l'aumento del numero degli avvolgimenti di cui si è detto è utile per equalizzare l'andamento della tensione d'uscita ma non per aumentarne l'ampiezza.

L'ampiezza può essere aumentata invece mediante l'uso di un numero maggiore di spire per ogni singolo avvolgimento.

Entro ristretti limiti, la tensione d'uscita di un generatore di c.c. può essere calcolata mediante il prodotto del numero di spire di ogni avvolgimento, la densità di flusso che sussiste tra ogni paio di poli magnetici, e la velocità di rotazione dell'armatura.

A questo punto è necessario specificare che fino ad ora ci siamo riferiti esclusivamente ai generatori a due poli (un polo Sud ed un polo Nord), mentre — come vedremo in seguito — esistono dei generatori provvisti di un maggior numero di coppie di poli, il che contribuisce a spianare l'andamento della tensione d'uscita, esattamente come accade aumentando il numero degli avvolgimenti separati, la qual cosa abbiamo precedentemente chiarito ed illustrato alle figure 3 e 4 E.

Generatori di c.c. in pratica

Come abbiamo ora visto, le parti essenziali di un generatore sono: « le espansioni polari », « l'armatura rotante », ed « il commutatore rotante » costituito dai « segmenti » (collettore) e dalle « spazzole ». I veri e propri generatori differiscono tuttavia dal tipo basilare descritto per i particolari che ora esponiamo.

POLI MAGNETICI

I generatori di costruzione commerciale impiegano elettromagneti o elettrocalamite in luogo di magneti permanenti, allo scopo di produrre campi magnetici di maggiore intensità senza, peraltro, aumentare le dimensioni fisiche dello statore.

La **figura 5 E** illustra l'aspetto di due generatori rispettivamente a 2 e a 4 poli, nei quali la parte esterna o « giogo » compie due funzioni: completa il circuito magnetico tra i poli, e funge da supporto meccanico per l'intero dispositivo.

Nei generatori di piccole dimensioni il giogo è costituito da un unico corpo di ferro, mentre nei generatori di dimensioni notevoli consiste di due parti saldamente unite tra loro. Lo statore deve avere buone proprietà magnetiche perché, con le espansioni polari, costituisce la maggior parte del circuito magnetico.

Le espansioni polari sono fissate all'interno dello statore: si tratta di nuclei sui quali sono avvolte le bobine di campo. Essi sono generalmente costituiti da lamierini sovrapposti onde ridurre le correnti parassite, e compiono la medesima funzione svolta dai nuclei, agli effetti della concentrazione magnetica, delle elettrocalamite.

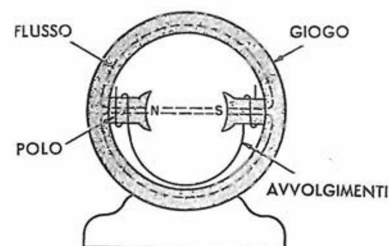
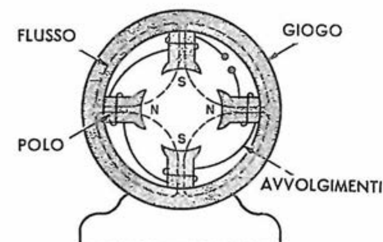


Fig. 5 E - Disposizioni delle polarità e senso degli avvolgimenti nel « giogo » di un generatore a due poli. Il circuito magnetico si chiude attraverso il rotore, non indicato in figura.



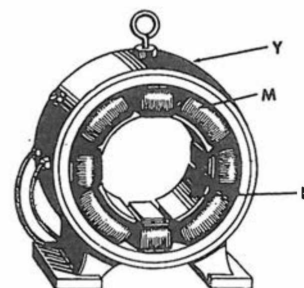
Disposizione delle polarità e senso degli avvolgimenti nel « giogo » in un generatore a quattro poli.

L'intero statore — ossia tanto la parte esterna quanto le espansioni polari — è in ferro di alte qualità magnetiche, oppure in acciaio laminato onde ridurre le perdite per correnti parassite.

Le bobine di campo consistono di molte spire di filo isolato. Sono normalmente avvolte su appositi supporti la cui forma ne permette il successivo collocamento ed il rigido fissaggio sulle espansioni polari; la corrente di eccitazione che le percorre viene ricavata o da una sorgente esterna, o dalla stessa tensione prodotta dal generatore. Tra gli avvolgimenti delle bobine di campo e le espansioni polari non esiste alcun collegamento elettrico.

La maggior parte degli avvolgimenti di campo sono collegati in modo tale che i poli invertano la loro polarità: ad ogni polo Nord deve corrispondere sempre un polo Sud; di conseguenza, i poli di un generatore devono essere sempre in numero pari.

È opportuno notare che le espansioni polari visibili nella figura 5 E sporgono all'interno del giogo. Ciò riduce lo spazio esistente tra esse e l'armatura rotante, con la conseguenza di un aumento del rendimento in quanto l'aria offre una notevole riluttanza al campo magnetico. Allorché le espansioni polari si protendono nel modo descritto, vengono denominati « poli salienti ».



Aspetto di un generatore di corrente, privo del suo rotore. « Y » indica il giogo, « M » sono gli avvolgimenti e « P » sono i poli.

ARMATURA

Come abbiamo visto precedentemente, l'armatura è la parte rotante del generatore. Essa consiste di bobine avvolte su nuclei di ferro, di un commutatore, e di parti meccaniche associate. Il nucleo di ferro agisce da conduttore nel campo magnetico, e, per questo motivo, è costituito da ferro laminato onde evitare le correnti parassite.

Esistono due tipi di armatura, e precisamente il tipo « ad anello » e il tipo « a tamburo ». La **figura 6 E** illustra un tipo di armatura ad anello costituita da un corpo in ferro, da un avvolgimento ad otto sezioni, e da un commutatore ad otto segmenti.

Nel tipo di armatura a tamburo gli avvolgimenti sono sistemati in fessure praticate nel nucleo, sebbene tra i primi ed il secondo non esista alcun collegamento elettrico (vedi **figura 7 E**). L'uso di tali fessure migliora la sicurezza meccanica dell'armatura.

Normalmente, gli avvolgimenti vengono trattenuti nelle fessure mediante l'introduzione di strisce di materiale isolante (cartone o fibre speciali). I collegamenti con i vari avvolgimenti sono rappresentati dai fili uscenti o dai loro terminali, che sono quindi uniti ai rispettivi segmenti del collettore che durante la rotazione dell'armatura fanno capo alle spazzole.

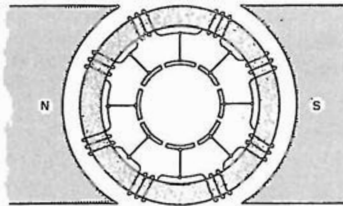


Fig. 6 E - Armatura (parte rotante) del tipo ad anello di un generatore. Gli avvolgimenti sono a otto sezioni: ogni sezione fa capo, verso il centro, ad un contatto (collettore) dal quale la corrente viene prelevata mediante una « spazzola ».

COLLETTORE

La **figura 8 E** illustra chiaramente un collettore tipico. Esso viene sistemato ad una delle estremità del rotore (vedi figure 7 E) e consiste di segmenti di rame elettrolitico duro, isolati tra loro da sottili fogli di mica. Detti segmenti vengono tenuti saldamente al loro posto mediante anelli di acciaio sagomati oppure mediante flange. Anche tra i segmenti di rame e gli anelli o le flange esiste uno strato isolante di mica.

La parte sollevata di ogni segmento prende il nome di « gradino », al quale viene saldato uno dei terminali degli avvolgimenti del rotore. In mancanza di detto gradino il terminale viene saldato ad una prominenza presente ad una delle estremità del segmento stesso.

Le spazzole sono in diretto contatto con la superficie esterna del collettore e costituiscono così il mezzo di collegamento col circuito esterno. Esse vengono confezionate con una speciale qualità di carbone misto a polvere di rame e pressato; vengono mantenute nella posizione appropriata mediante speciali supporti isolati dalla massa metallica.

Durante la rotazione la superficie del collettore scorre lungo il punto di contatto con le spazzole, ed esse, essendo libere di muoversi lungo il loro supporto, possono seguirne le eventuali irregolarità. Il contatto col circuito esterno viene realizzato con collegamenti flessibili di rame costituiti da diversi fili sottili intrecciati tra loro. Infine, le spazzole sono regolabili affinché la pressione da esse esercitata sul collettore possa variare e affinché possa essere scelta anche la loro posizione nei confronti dei segmenti che costuiscono il collettore.

COMMUTAZIONE

Col ruotare dell'armatura di un generatore a c.c., negli avvolgimenti — allorché gli stessi passano sotto le espansioni polari — si crea una tensione. Tale tensione può essere prelevata mediante le spazzole. È questo il principio di base che abbiamo visto.

Man mano che i segmenti cui fanno capo gli avvolgimenti vengono in contatto con le spazzole, si verificano due azioni simultanee: innanzitutto, viene prelevata la corrente di cui si è detto — che è la conseguenza della tensione indotta nelle bobine — e, in secondo luogo, le bobine che si trovano negli spazi interpolari vengono momentaneamente cortocircuitate, e i collegamenti alle bobine si invertono.

La continua apertura e chiusura del collegamento con la bobina nella quale viene indotta una tensione, rende necessario l'uso di spazzole aventi una minima resistenza di contatto. Inoltre, le spazzole devono essere formate da un materiale tale da rendere minimo l'attrito poiché, diversamente, il collettore verrebbe sottoposto ad un logorio eccessivo. Per questo motivo le spazzole sono costituite da un impasto non eccessivamente duro, tuttavia tale da assicurare una notevole durata.

Dal momento che la resistenza di contatto del carbone (elemento predominante nella struttura delle spazzole) è piuttosto alta, la superficie di appoggio sul collettore deve essere molto ampia, e quella del collettore stesso deve essere quanto più levigata possibile. Si devono evitare in questo punto, nel modo più assoluto, sostanze lubrificanti, e nelle operazioni di pulitura è necessario prestare la massima attenzione onde evitare eventuali incrinazioni o incisioni nella superficie.

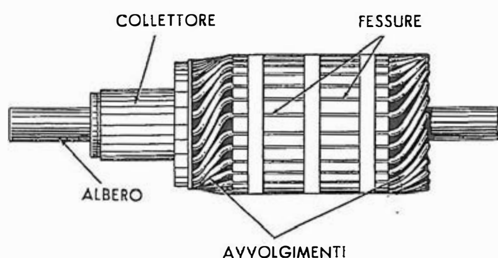
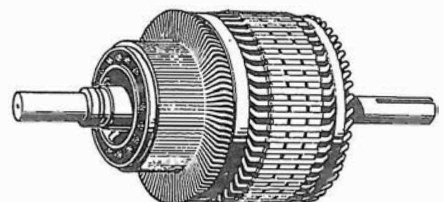


Fig. 7 E - Armature o rotori del tipo a tamburo. Gli avvolgimenti sono sistemati in fessure: anche qui i vari terminali delle sezioni fanno capo ad altrettanti segmenti tra loro isolati.



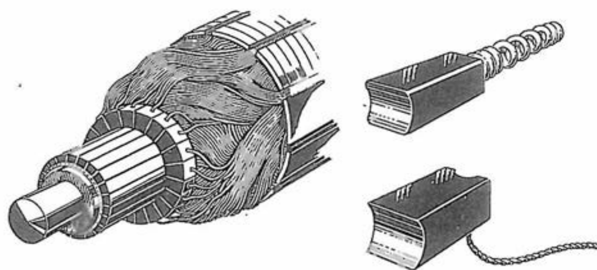


Fig. 8 E - All'estremità del rotore è posto il « collettore » (vedi figura 7): eccone uno in prospettiva. Sono visibili le barrette di contatto in rame, i supporti isolanti, la flangia di fissaggio e l'albero principale. Per il suo funzionamento, il collettore viene anche denominato commutatore. Accanto ad esso, due tipi di spazzole: su quello in alto si nota la molla che, pressata, mantiene costante e regolare il contatto con le barrette del collettore.

In teoria non dovrebbe verificarsi scintillio durante il funzionamento, tuttavia, le correnti che scorrono nelle bobine del rotore determinano un proprio campo magnetico che si oppone a quello creato dagli avvolgimenti di campo. La presenza di questo campo opposto determina uno spostamento del piano neutro.

La **figura 9 E** illustra come si produce questo effetto denominato « reazione del rotore ».

La sezione **A** rappresenta le linee di flusso prodotte dai due poli negli istanti in cui non vi è passaggio di corrente negli avvolgimenti del rotore. La curvatura di dette linee si verifica a causa della presenza dell'armatura di ferro tra i poli, e costituisce una distorsione normale del campo magnetico in un generatore. La linea « ab » indica l'asse zero del campo.

La sezione **B** illustra le linee di flusso prodotte dalla corrente che scorre nei soli avvolgimenti del rotore; in altre parole, si suppone che le bobine di campo non siano eccitate, per cui tra le espansioni polari non si ha alcun campo magnetico.

La sezione **C**, per ultimo, illustra il campo risultante dalla presenza dei due flussi precedentemente descritti: il flusso « A » prodotto dai poli ed il flusso « B » prodotto dalla corrente che circola nel rotore.

È importante notare che l'asse zero del campo risultante è spostato come è indicato dalla linea « a'b' ». Tale spostamento determina la nuova posizione del piano neutro. Lo spostamento del campo principale fa in modo che le bobine del rotore, che stanno per essere cortocircuitate dalle spazzole, subiscano l'influenza di un ulteriore campo di intensità ridotta, che induce in esse una lieve tensione.

Tale bassa tensione viene cortocircuitata dalle spazzole; ciò determina la presenza di scintille che, a lungo andare, deteriorano il collettore. Con l'aumentare della corrente assorbita dal carico, detta reazione aumenta ed il fenomeno assume maggiori proporzioni.

Allo scopo di rimediare allo spostamento del piano neutro, si possono adottare vari espedienti:

1) l'intero complesso delle spazzole può essere ruotato in modo che esse siano allineate con la posizione assunta dal piano, e, dal momento che detto spostamento è proporzionale al carico, deduciamo che il complesso delle spazzole, secondo questa soluzione, deve poter essere regolato ogni volta che si apportano delle variazioni al carico applicato. Questo procedimento è perciò poco pratico per cui si preferisce ricorrere ad altri sistemi;

2) i poli possono essere leggermente smussati, ossia, la distanza radiale tra le superfici dei poli e l'armatura rotante può essere leggermente aumentata alle estremità dei poli stessi. In questo caso, l'aumentata distanza tra le parti metalliche degli spigoli rimedia, in un certo senso, alla tendenza del campo a spostarsi a causa della reazione del rotore;

3) i poli di commutazione possono essere sistemati negli spazi interpolari. Questi poli sono più piccoli e più vicini che non quelli del campo principale, e l'avvolgimento presente su di essi è in serie all'armatura e collegato in modo tale che il campo magnetico da essi prodotto sia opposto al campo causato dalla reazione del rotore;

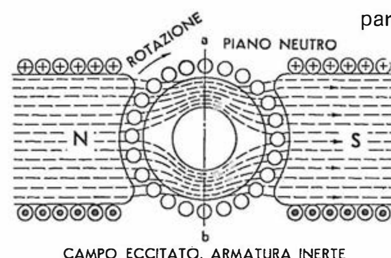
4) le superfici delle espansioni polari possono essere munite di fessure longitudinali nelle quali è possibile alloggiare gli avvolgimenti. Questi ultimi sono quindi collegati in modo tale che il campo da essi prodotto si opponga a quello prodotto dal rotore.

I generatori di c.c. possono essere classificati a seconda del metodo usato per fornire la corrente al campo di eccitazione.

Quando tale corrente è ottenuta da una sorgente di energia separata, il generatore (dinamo) viene detto **ad eccitazione separata.** Normalmente detta sorgente separata è costituita da un piccolo generatore ausiliario detto « eccitatore ».

Se invece la corrente di campo è prodotta dalla dinamo stessa si dice che essa è del tipo **ad autoeccitazione.** In questo caso esistono ulteriori classificazioni a seconda che la eccitazione avvenga in serie, in parallelo, o in serie-parallelo.

Fig. 9 E (Sez. A) - Le correnti che scorrono nelle bobine del rotore creano un campo magnetico che si oppone a quello generato dagli avvolgimenti di campo. Direzione delle linee di forza in assenza di corrente nel rotore.



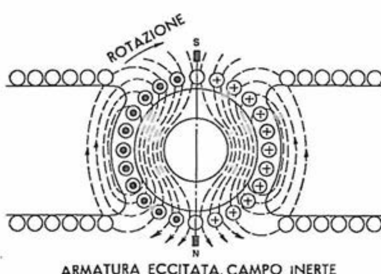


Fig. 9 E (Sez. B) - Linee di forza prodotte dalla corrente che circola nell'avvolgimento del rotore, supponendo che lo statore non sia magnetizzato.

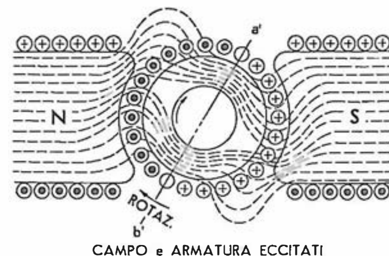
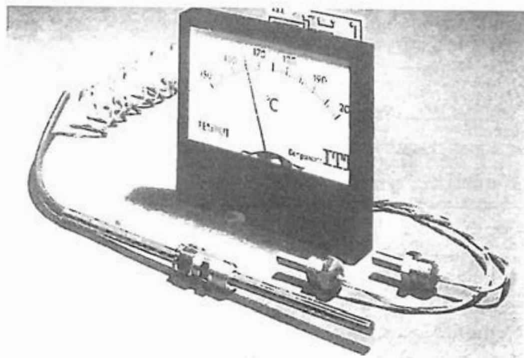


Fig. 9 E (Sez. C) - Campo magnetico risultante dalla sovrapposizione dei due campi (rotore e statore). Come si può osservare l'asse zero del campo risulta inclinato, e ciò dà luogo a scintillio sul collettore, se non vengono inclinate anche le spazzole che poggiano su di esso.



Gli strumenti di misura

Ad un tecnico può presentarsi la necessità di progettare ricevitori, trasmettitori, ecc., mettere in funzione apparecchiature nuove, assumere la loro manutenzione onde assicurarne il funzionamento continuo o, infine, riparare complessi elettronici che abbiano subito guasti; a tale scopo sono disponibili vari strumenti di prova atti ad aiutarlo efficacemente nella sua attività.

Per collaudare e porre in funzione un complesso elettronico, e per controllarne la costanza di funzionamento, il tecnico si serve di apparecchi speciali che prendono il nome di generatori di segnali, voltmetri, misuratori di frequenza e misuratori di uscita ecc., e che impareremo man mano a conoscere.

Per contro, allorché si verifica un guasto, sono i multimetri o misuratori multipli o « tester », i voltmetri elettronici o voltmetri a valvola, i « signal tracers » (apparecchi atti a rivelare la presenza di segnali elettrici trasformandoli in suoni o in tensioni o in correnti che possono essere misurate con altro strumento), gli oscillografi ed altri dispositivi che forniscono un aiuto considerevole per localizzare rapidamente il guasto.

Poiché il tecnico deve comprendere perfettamente come tali apparecchiature funzionino e come debbano essere usate correttamente, diremo anzitutto dei più correnti strumenti di misura o strumenti indicatori che sono tra i componenti più importanti — se non i più importanti decisamente — di molte apparecchiature di misura.

È opportuno dire, a questo proposito, che da qualche anno si è rivelata una tendenza nuova nel tipo di indicatore esprimente i valori di lettura di un'apparecchiatura di misura. Si tratta di indicazioni « numeriche », più correntemente dette **digitali**; esse consentono di fare a meno dello strumento ad indice e riflettono diversi vantaggi, ma non sono prive — anche — di inconvenienti. Un primo cenno il lettore lo troverà a pagina 32 e; l'argomento sarà poi ripreso in forma più ampia, più avanti, allorché ci occuperemo delle singole apparecchiature.

Ciò che segue è pertanto una necessaria esposizione del funzionamento dei differenti tipi di strumenti « ad indice », adottati correntemente negli apparecchi di misura propriamente detti: questi ultimi saranno poi oggetto di descrizioni dettagliate, che metteranno il lettore in grado di costruire da se stesso i tipi principali, vale a dire quelli di più frequente impiego. E già tra alcune pagine, egli troverà la prima di queste descrizioni, quella che illustra il più corrente degli apparecchi di misura, il « tester ».

Principi di funzionamento

Gli strumenti vengono usati per misurare quantità elettriche; alcuni misurano la tensione, altri la corrente, altri la resistenza, ed altri ancora possono effettuare tutte e tre le misure.

Altri tipi di strumenti misurano la potenza, la capacità, l'induttanza o altre entità elettriche. Qualunque sia la quantità elettrica che lo strumento deve misurare, il « suo funzionamento » (salvo qualche eccezione), « è in funzione della corrente che lo attraversa ».

Misuratori di corrente. Poiché gli strumenti non possono indicare alcuna lettura a meno che non vengano percorsi da corrente, potrebbe sembrare a prima vista che essi siano utili solo per la misura di corrente, ma ciò non corrisponde alla realtà, in quanto il circuito di uno strumento può essere modificato e tarato in modo tale da effettuare misure di quasi tutte le unità elettriche basilari.

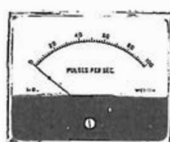
Ad esempio, uno strumento può essere utilizzato per misurare tensioni anche se esso dà letture solo a causa della corrente che lo attraversa, e ciò può accadere in quanto, come sappiamo, detta corrente varia in proporzione esatta rispetto alla tensione applicata al circuito (« legge di Ohm »), per cui il quadrante dello strumento può essere tarato in volt invece che in ampère.

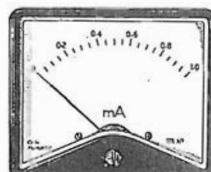
Inoltre, poiché l'ammontare della resistenza di un circuito influisce direttamente sulla quantità di corrente che lo percorre — se lo si desidera — la scala o quadrante dello strumento può essere calibrata in unità di resistenza invece che in unità di corrente o di tensione.

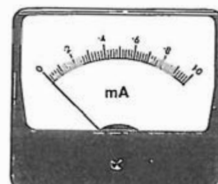
Conseguenze di un flusso di corrente. Il passaggio di una corrente in un conduttore determina due fenomeni principali, l'« elettromagnetismo » ed il « calore », i quali, vengono utilizzati per il funzionamento degli strumenti.

1) Il lettore sa già che, quando una corrente scorre attraverso una bobina, si ha un « elettromagnete », si produce cioè attorno e all'interno della bobina, un « campo magnetico » che è direttamente proporzionale all'intensità della cor-

Fig. 10 E - Per molto tempo la forma degli strumenti di misura è stata quella tonda; da diversi anni però si preferisce la forma rettangolare, più moderna nella linea e, molte volte, più funzionale perché consente una più ampia scala. Vi sono anche tipi a lettura verticale, come si può vedere a pagina 15 e.







rente; ora, la forza di questo campo magnetico può essere usata in differenti modi per indicare l'ammontare della corrente che scorre nella bobina stessa.

Tre tipi fondamentali di strumenti sono basati sull'elettromagnetismo: gli strumenti a **ferro mobile**, gli strumenti a **bobina mobile**, e i **dinamometri**.

2) Quando la corrente scorre in un conduttore, si produce un altro fenomeno di cui è stato già detto; si genera cioè un calore la cui intensità è direttamente proporzionale all'intensità della corrente stessa; ne consegue che la quantità di calore che si sviluppa può essere utilizzata per indicare detta corrente.

Gli strumenti basati su questo principio sono detti « misuratori termici », ed i due tipi principali sono gli amperometri a **filo caldo** e gli strumenti a **termocoppia.**

Misuratori elettromagnetici

Strumenti a ferro mobile

Sappiamo che se una barra di ferro dolce viene posta in prossimità di un elettromagnete, essa si magnetizza a sua volta (**figura 11 E**); le molecole si allineano, e le linee di forza presenti nella barra si dispongono nella medesima

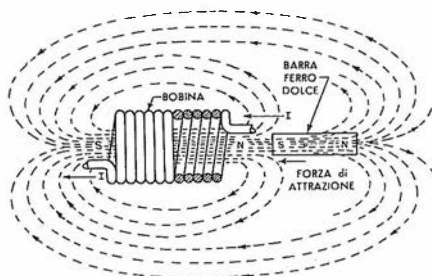


Fig. 11 E - Se una barra di ferro dolce viene posta nelle vicinanze di un elettromagnete, essa si magnetizza a sua volta e viene attratta all'interno della bobina.

direzione di quelle provenienti dall'elettromagnete.

Poiché le linee di forza si comportano in certo qual modo come fossero strisce di gomma tese ed allungate, esse tendono ad accorciarsi, per cui la barra di ferro dolce viene attratta verso l'elettromagnete, e — nel caso in cui la bobina sia fissa e la barra risulti libera di muoversi — la barra viene attirata all'interno della bobina.

Se la corrente che attraversa la bobina inverte la sua direzione, l'inversione viene seguita dalle molecole del ferro; le linee di forza invertite della barra si allineano nuovamente rispetto a quelle provenienti dalla bobina, e si verifica ancora la medesima forza di attrazione.

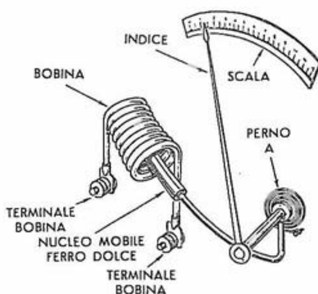
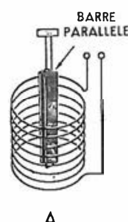
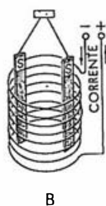


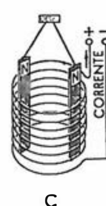
Fig. 12 E - Avviando corrente alla bobina, la barra di ferro dolce viene attratta, come si è visto alla figura precedente, e l'indice compie sulla scala un movimento proporzionale alla corrente che passa nella bobina.



A



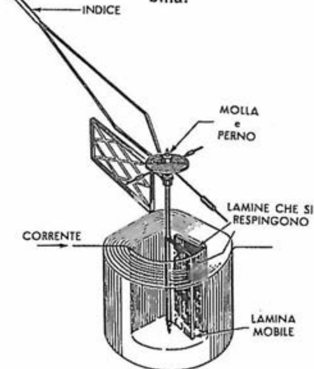
B



C

Fig. 13 E - Le due alette di ferro dolce, poste all'interno della bobina si allontanano quando circola corrente, anche se il senso di quest'ultima si inverte.

Fig. 14 E - Una aletta è fissa; quella mobile è dotata di indice. Tipo ad alette radiali all'interno della bobina.



Da ciò si deduce che la barra di ferro viene attratta dalla bobina sia che questa venga percorsa da corrente continua come da una corrente che inverta, anche con notevole frequenza, il suo senso; quest'ultimo tipo di corrente, che impareremo presto a conoscere, è quello noto con il nome di « corrente alternata ». Il ferro dolce viene usato unicamente in quanto la sua magnetizzazione cessa non appena cessa la corrente nell'elettromagnete. Vi sono due tipi di strumento a ferro mobile: il tipo a stantuffo ed il tipo a repulsione con aletta mobile.

Tipo a stantuffo. La barra mobile di ferro dolce, opportunamente collegata ad un indice, viene posta in modo da trovarsi parzialmente introdotta in una bobina fissa (**figura 12 E**); il complesso formato dalla barra e dall'indice è reso solidale con un perno « A ».

Some abbiamo detto, quando una corrente scorre attraverso una bobina, si produce un campo magnetico grazie al quale la barra di ferro dolce si magnetizza e subisce una forza di attrazione che la porta all'interno della bobina stessa; tale movimento provoca, in questo caso, uno spostamento dell'indice, di un ammontare che risulta direttamente proporzionale all'intensità del campo magnetico. L'intensità, a sua volta, è in relazione alla quantità di corrente che scorre attraverso la bobina.

Il tipo a stantuffo è uno degli strumenti usati al nascere della tecnica dell'elettrologia per effettuare misure di corrente: attualmente è superato in seguito allo sviluppo di altri dispositivi di maggior precisione.

Tipo a repulsione ad aletta mobile. Questo tipo, come il precedente, è basato sulla magnetizzazione di una barra di ferro dolce provocata da un elettromagnete. La differenza sta nel fatto che si usano qui due barre invece di una sola, ed entrambe sono alloggiate internamente alla bobina. Quando quest'ultima viene percorsa da corrente, le due barre vengono magnetizzate con la medesima polarità (**figura 13 E**), e, poiché i poli analoghi si respingono, esse sono costrette ad allontanarsi l'una dall'altra.

Se la corrente si inverte, anche la polarità magnetica delle barre subisce la medesima inversione, per cui la forza che ne determina l'allontanamento continua a manifestarsi con la medesima intensità.

Se una delle due barrette è fissa, mentre l'altra è libera di muoversi, si può collegare meccanicamente un indice a quest'ultima, in modo che la forza di repulsione manifestantesi indichi indirettamente l'ammontare della corrente.

Vi sono due tipi di strumenti basati sul principio della repulsione: il tipo ad alette radiali, e quello ad alette concentriche.

Nel primo tipo, all'interno della bobina si trovano due alette rettangolari (**figura 14 E**), una delle quali è fissa, mentre l'altra — collegata ad un indice — è libera di ruotare su di un

perno. Quando la bobina è percorsa da corrente, le due alette si magnetizzano e si respingono a vicenda, per cui quella mobile si allontana da quella fissa spostando contemporaneamente l'indice il quale, a sua volta, indica su una scala l'ammontare della corrente che percorre la bobina.

Il secondo tipo funziona col medesimo principio, e viene definito « concentrico » in quanto le alette semicircolari sono alloggiate una internamente all'altra (**figura 15 E**). Anche qui una di esse è fissa, mentre l'altra, collegata ad un indice, è libera di ruotare su di un perno.

Sebbene entrambi questi strumenti — detti a repulsione — siano adatti a misurare sia correnti continue che correnti alternate, essi vengono usati generalmente per misurare a corrente alternata a frequenza (cioè, inversione di polarità) bassa (frequenza industriale delle reti di distribuzione dell'energia elettrica pari, quasi sempre, a 50 hertz).

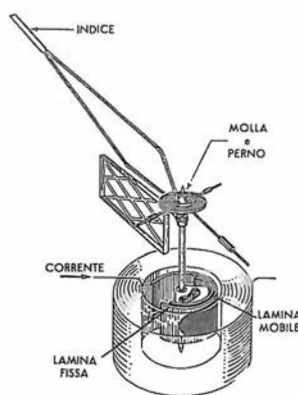


Fig. 15 E - Alette concentriche all'interno della bobina: una è fissa ed una, con indice, è mobile. La corrente determina una repulsione tra di esse.

Strumenti a bobina mobile

La maggior parte degli strumenti usati dai tecnici è basata sul sistema detto « a bobina mobile ».

Tali strumenti sono costituiti da un avvolgimento di filo molto sottile talvolta supportato da un piccolo telaio di alluminio, immerso nel campo di un magnete permanente (**figura 16 E**). La bobina è sospesa su perni fissati su due lati opposti del telaio, in modo che questo sia libero di muoversi in senso rotatorio, mentre due molle a spirale controllano gli spostamenti angolari dell'indice.

Quando la bobina del telaio viene percorsa da corrente produce un campo magnetico, la cui polarità è tale da provocare una forza di repulsione rispetto alla polarità del vicino magnete permanente: a causa di ciò, essa ruota sui suoi perni spostando contemporaneamente l'indice il quale indica così su una scala l'ammontare della corrente che scorre.

La sensibilità di questo tipo di strumento può essere molto spinta, al punto tale che anche « una frazione di microampère » (un milionesimo di ampère) può determinare già uno spostamento dell'indice lungo la scala graduata.

Se la posizione di riposo dell'indice ed il punto della scala corrispondente allo zero vengono posti in centro alla scala, lo strumento può essere utilizzato per effettuare misure molto precise di resistenza, e di altri valori elettrici, facendo parte di speciali apparecchiature complesse dette « ponti di misura ».

Lo strumento può essere inoltre modificato per effettuare varie misure di corrente continua, e, collegandolo opportunamente ad un dispositivo detto « raddrizzatore », può essere utilizzato per misure di corrente rettificata o raddrizzata, ossia per misure, in definitiva, in corrente alternata di cui — come abbiamo detto — ci occuperemo tra breve.

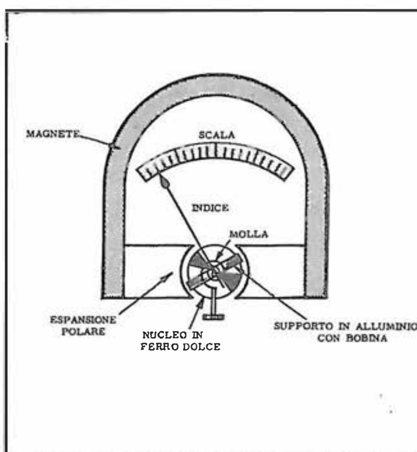
Grazie alla sensibilità ed alla precisione di questo strumento, nonché alla sua possibilità di utilizzazione per la misura di tensioni e correnti continue, di tensioni e correnti alternate e di resistenze, esso viene invariabilmente usato per la realizzazione dei **multimetri** o « **tester** » i quali non sono che una combinazione di misuratori di tensioni, correnti e resistenze.

Infine, questo tipo di indicatore viene impiegato per la costruzione dei cosiddetti voltmetri elettronici e si può affermare che esso è tuttora, senza dubbio, il tipo di strumento più importante in elettronica e nelle attività inerenti.

Dinamometro. Il dinamometro o « wattmetro » è basato sul principio della repulsione magnetica tra due o più campi magnetici.

Quando viene realizzato mediante l'impiego di due bobine, una di essa è fissa mentre l'altra, collegata ad un indice, è libera di muoversi su perni in senso rotatorio. La corrente scorre in entrambe le bobine producendo due campi magnetici, e la bobina mobile, collegata all'indice, viene respinta dai poli analoghi della bobina fissa: si sposta, ruotando su se stessa e determinando così lo spostamento dell'indice. Questo strumento può misurare tensioni, correnti e potenze, sia in corrente alternata che in corrente continua, sebbene venga comunemente usato per effettuare misure di potenza in watt (**figura 17 E**).

Quando il dinamometro viene usato come



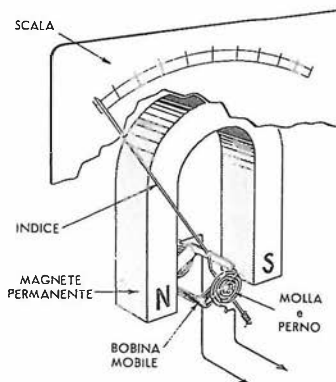


Fig. 16 E - Strumento a « bobina mobile »; è il tipo più usato in elettronica. Deriva dall'equipaggiamento usato da D'Arsonval nel suo galvanometro (vedi pagina 10 e). Attualmente i magneti permanenti qui indicati nella classica forma a ferro di cavallo sono in realtà più razionali nella forma e molto più piccoli in conseguenza dell'adozione di materiali magnetici (leghe) di più alto rendimento. Si veda, in proposito, la soluzione tecnologica illustrata a pagina 14 e.

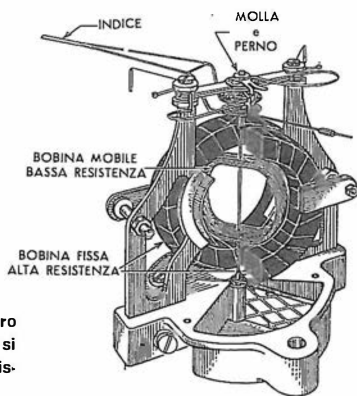
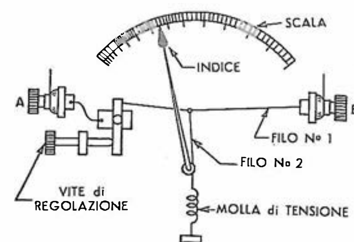


Fig. 17 E - Dinamometro (misure di potenza): si hanno 2 bobine, una fissa ed una mobile.

Fig. 18 E - Misuratore di corrente per effetto termico, detto appunto a « filo caldo ». Il filo N. 1 si dilata, viene tirato dal filo N. 2, grazie alla molla, e quest'ultimo, agendo sull'indice, lo sposta in proporzione alla dilatazione, vale a dire, alla corrente che fluisce tra i morsetti « A » e « B ».



wattmetro è costituito da due bobine fisse avvolte con molte spire di filo sottile, aventi un'alta resistenza, collegate in parallelo alla sorgente di tensione che alimenta il circuito; una terza bobina, però mobile e a bassa resistenza, viene collegata in serie a detta tensione, in modo che venga percorsa da tutta la corrente che scorre nell'intero circuito. Il complesso costituito dalla bobina mobile a bassa resistenza e dall'indice, ruota su se stesso determinando uno spostamento di quest'ultimo proporzionale all'intensità risultante dalla combinazione dei due campi magnetici. In tal modo lo spostamento angolare è proporzionale sia alla corrente che alla tensione presenti nel circuito, e poiché anche la potenza è proporzionale ad entrambe, la scala dello strumento può essere tarata direttamente in watt, vale a dire, in unità di potenza.

Misuratori termici

Amperometri a filo caldo

Il calore generato dal passaggio di corrente in un conduttore fa sì che questo si dilati; negli amperometri a filo caldo la dilatazione di detto conduttore — mediante opportuni collegamenti meccanici — determina lo spostamento di un indice il quale indica su una scala graduata, l'ammontare della corrente.

Lo strumento viene collegato in serie al carico mediante i terminali « A » e « B » (vedi **figura 18 E**), mentre all'interno dello strumento, il collegamento n. 1 si trova tra i due terminali. Il collegamento n. 2 invece è connesso al primo in prossimità del centro, e la sua tensione meccanica è controllata dalla apposita molla di tensione. Il filo n. 2 passa inoltre lungo la base arrotondata di un perno collegato ad un indice che ha il compito di determinare gli spostamenti angolari di quest'ultimo.

Quando la corrente passa attraverso il filo n. 1, esso si scalda proporzionalmente alla quantità di corrente: maggiore è quest'ultima, maggiore è il calore che viene generato e quindi la dilatazione che ne consegue. Non appena il filo n. 1 si dilata allungandosi, esso viene tirato grazie alla tensione della molla attraverso il filo n. 2 il quale, per attrito, fa ruotare il perno determinando così lo spostamento dell'indice lungo la scala.

L'indice è regolato in modo da indicare 0 in assenza di corrente, mediante la vite di regolazione che determina la tensione meccanica del filo n. 1.

Se un conduttore viene attraversato, ad esempio dalla corrente di 1 ampère, si produce una determinata quantità di calore, la quale è costante indipendentemente dal fatto che la corrente sia continua o alternata, e — in questo secondo caso — sia che la frequenza sia alta o bassa. Da ciò si deduce che l'effetto termico può essere utilizzato per misurare qualunque tipo di corrente.

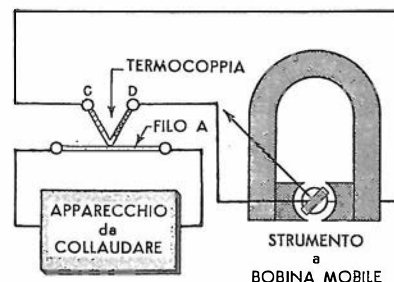
Strumenti a termocoppia

Gli strumenti a termocoppia vengono normalmente usati per misurare correnti ad Alta Frequenza, e sono di frequente impiego nei trasmettitori per il controllo della corrente di aereo ad Alta Frequenza o per la misura della potenza.

Gli elementi normalmente impiegati per la realizzazione di tali dispositivi sono la « costantana » ed il « platino », o una sua lega.

Lo strumento a termocoppia viene collegato in serie al circuito sotto prova, in modo che la corrente di questo passi attraverso il filo «A» dello strumento (vedi **figura 19 E**), il quale è collegato al punto di giunzione di due metalli differenti; questa striscia bimetallica costituisce la « termocoppia » propriamente detta. Essa ha la proprietà di generare una tensione a corrente continua quando il punto di unione dei due metalli diversi di cui è costituita viene riscaldato (vedi pag. 30 c), la corrente porta il filo

Fig. 19 E - Misuratore a « termocoppia ». La corrente da misurare passa nel filo « A », riscalda il filo e quindi la coppia bimetallica. Ai capi di quest'ultima (tra C e D) si forma una corrente continua che viene applicata allo strumento a bobina mobile e da esso misurata. Abbiamo già visto in figura 40 C una « termocoppia ».



ad una certa temperatura che viene trasmessa alla termocoppia, la quale, a sua volta, genera una piccola tensione a corrente continua dispo-

nibile ai terminali « C e « D », proporzionalmente all'ammontare del calore.

Entro i limiti della termocoppia, maggiore è la corrente che percorre il circuito, maggiore è la tensione generata.

Allo scopo di ottenere una certa insensibilità alle variazioni della temperatura ambiente — e di effettuare quindi misure il più possibile esatte — i lati liberi della termocoppia devono essere collegati al centro di due strisce di rame separate. In tal modo essi avranno costantemente la temperatura media delle estremità, e non quella della parte centrale dell'elemento riscaldante.

I terminali delle due piattine di rame sono posti abbastanza in prossimità di quest'ultimo affinché abbiano la medesima temperatura, ma sono da esso elettricamente isolati mediante sottili fogli di mica. Non appena la corrente passa, la temperatura al centro dell'elemento attivo diventa molto maggiore che non alle estremità, ossia in corrispondenza dei lati liberi della termocoppia. Per tale motivo questo tipo di strumento viene denominato « a compensazione termica ».

La tensione presente tra i punti « C » e « D » viene applicata ad un comune strumento a bobina mobile. È opportuno rilevare che, allo scopo di riscaldare la termocoppia, il filo « A » può essere percorso, come si è detto, sia da corrente continua che da corrente alternata, ma che, qualunque sia il genere di corrente che passa attraverso detto filo per essere misurata, ai terminali liberi della termocoppia è presente soltanto una tensione a corrente continua.

Lo strumento a termocoppia, da quanto si è visto sopra, può essere definito come una combinazione dei due princìpi di funzionamento precedentemente spiegati, ossia del principio termico e di quello elettromagnetico.

Considerazioni generali

Gli strumenti descritti possono essere utilizzati per misurare sia correnti alternate che correnti continue, modificando il circuito dello strumento e tarando opportunamente la scala graduata a seconda delle unità desiderate.

I tipi a repulsione o ad aletta mobile o noti anche come tipi a « ferro mobile » vengono comunemente usati per le misure in corrente alternata.

Gli strumenti a termocoppia vengono invece usati, in radio, esclusivamente per le misure a radiofrequenza; gli strumenti a bobina mobile possono essere impiegati per quasi tutti i tipi di misure. La descrizione dettagliata di questi strumenti che seguirà, prende in esame i vantaggi e le limitazioni di ciascuno di essi.

Circa le caratteristiche degli strumenti ecco intanto un cenno generico:

1) « Precisione ». Alcuni strumenti sono per loro natura notevolmente più precisi di altri.

2) « Influenza sulle condizioni di funzionamento del circuito ». Alcuni strumenti, allorché vengono collegati in un circuito allo scopo di effettuare misure, ne alterano le condizioni; le variazioni causate dallo strumento allora, fanno sì che le misurazioni stesse non siano rigorosamente esatte. Altri strumenti invece, non hanno praticamente effetti apprezzabili nei confronti del circuito, perciò permettono misure più accurate e più esatte.

3) « Vari tipi di scale ». In alcuni strumenti le scale sono lineari (ossia con intervalli regolari tra i numeri), mentre in altri si usano scale non lineari.

Il tecnico, in base a quanto esposto, può individuare il tipo più adatto di strumento per un dato scopo; in caso di emergenza, potrà anche modificare il tipo a sua disposizione onde adattarlo alle particolari necessità.

Per tensioni e correnti c.

Equipaggio mobile D'Arsonval

Lo strumento usato più comunemente in elettronica è il tipo a bobina mobile, preferito per la sua precisione, per la sua stabilità e per la linearità delle scale.

Nel 1882 A. D'Arsonval, adottando il principio della bobina mobile, sviluppò un tipo di galvanometro, strumento adatto alla misura di correnti molto deboli. Sei anni dopo, E. Weston modificò notevolmente il progetto allo scopo di rendere questo tipo di strumento facilmente portatile; il principio basilare è però ancora noto come equipaggio D'Arsonval.

Il galvanometro di D'Arsonval, di cui in **figura 20 E** appare uno schema costruttivo semplificato, viene tuttora usato nel corso di esperimenti di laboratorio per la misura di correnti debolissime, e differisce dagli altri strumenti a bobina mobile che in seguito esamineremo fondamentalmente per avere la bobina mobile sospesa fra le espansioni polari di un magnete, mediante un nastro metallico invece che per mezzo di un perno incastrato fra due piccoli gioielli. La lettura si fa a mezzo di uno spec-

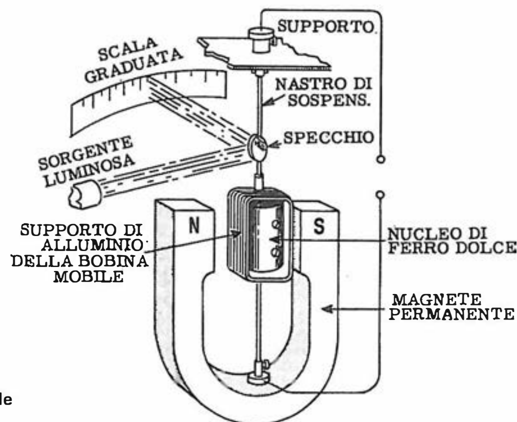


Fig. 20 E - Aspetto strutturale del tipico galvanometro di D'Arsonval. Il nastro metallico di sospensione della bobina mobile è realizzato in bronzo fosforoso.

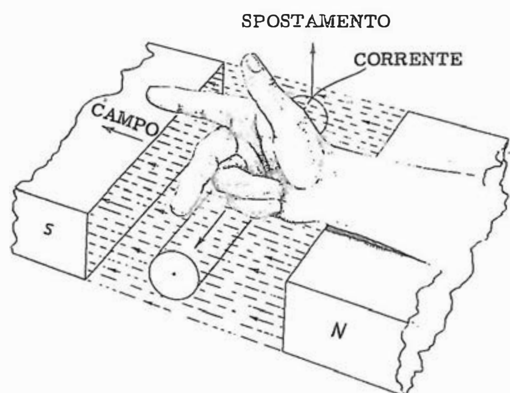


Fig. 21 E - Per determinare la direzione di spostamento di un conduttore percorso da corrente e immerso in un campo magnetico, è assai utile valersi della regola della « mano destra » sintetizzata appunto in figura.

chietto solidale con il nastro metallico di sospensione, il quale riflette un raggio luminoso ad esso avviato, su di uno schermo translucido graduato.

Quanto maggiore sarà l'intensità di corrente che circola nella bobina mobile, tanto più ampia la deviazione angolare di quest'ultima ed altrettanto quella del raggio luminoso sulla scala di lettura.

Per comprendere il principio di funzionamento del galvanometro di D'Arsonval e quindi di tutti gli strumenti a bobina mobile che da esso derivano, è anzitutto necessario soffermare la nostra attenzione sulla forza che agisce su di un conduttore di corrente posto in un campo magnetico. L'intensità di tale forza è proporzionale al prodotto della intensità di corrente per quella del campo magnetico.

Il campo magnetico si stabilisce fra le espansioni polari di un magnete permanente foggiato ad « U » e viene concentrato nel conduttore mediante un nucleo fisso di ferro dolce che completa il circuito magnetico. Il conduttore, a sua volta, viene reso mobile foggiandolo come un avvolgimento e sospendendolo quindi fra due punti fissi sì che sia libero di ruotare fra le espansioni polari del magnete seguendo le sollecitazioni della forza di cui abbiamo detto.

Un metodo utile per determinare la direzione di spostamento del conduttore è quello di adottare la cosiddetta regola della « mano destra » illustrata in **figura 21 E.**

Essa stabilisce che per determinare la direzione di spostamento di un conduttore percorso da corrente elettrica posto in un campo magnetico occorre estendere tre dita della mano destra, e precisamente il pollice, l'indice ed il medio, in modo che esse formino rispettivamente un angolo retto così come illustrato in figura.

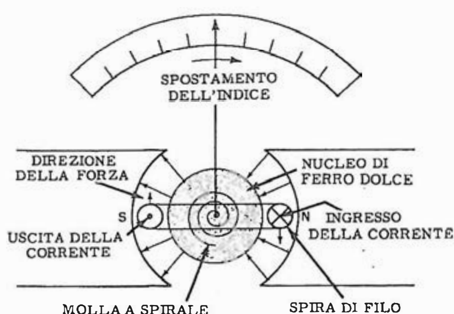


Fig. 22 E - Determinazione del senso di spostamento dell'indice di uno strumento a bobina mobile in funzione della direzione della corrente che entra nella spira di conduttore.

Se l'indice sarà orientato nella direzione del flusso magnetico (verso il polo sud) ed il medio in quella della corrente elettrica che percorre il conduttore, allora il pollice indicherà la direzione di spostamento di quest'ultimo nei rispetti del campo magnetico.

Si osservi che il conduttore, il campo e la forza sono rispettivamente perpendicolari gli uni agli altri.

La forza che agisce su di un conduttore di corrente posto in un campo magnetico è direttamente proporzionale alla intensità di campo del magnete, alla lunghezza effettiva del conduttore ed alla intensità della corrente che fluisce in esso e cioè: $F = BLI$ in cui F esprime la forza, B la densità di flusso, L la lunghezza effettiva del conduttore ed I la intensità di corrente, espresse nelle convenienti unità di misura.

Nel galvanometro di D'Arsonval, sia la lunghezza del conduttore che l'intensità del campo magnetico sono due grandezze di valore fisso e costante, per cui ogni variazione dell'intensità di corrente I provoca una variazione proporzionale della forza che agisce sul conduttore.

Il principio su cui si basa il funzionamento dell'equipaggio di D'Arsonval, può essere più chiaramente illustrato mediante la rappresentazione schematica di **figura 22 E** in cui è illustrato nella sua struttura essenziale l'equipaggio mobile di D'Arsonval il cui impiego, con opportune modifiche, viene esteso come vedremo agli usuali strumenti di misura per correnti continue.

Si osservi che nel disegno schematico suddetto è stata rappresentata una sola spira, ma in realtà vengono usate bobine costituite da numerose spire in quanto ciò equivale ad allungare la lunghezza effettiva del conduttore. Tale bobina viene in pratica normalmente avvolta su un telaietto di alluminio al quale viene anche fissato l'indice di lettura.

Due mollicine a spirale servono per ripristinare la condizione di riposo dell'equipaggio, una volta venuta a mancare la corrente che ne ha provocato lo spostamento.

Come abbiamo precedentemente affermato, la forza di deflessione che agisce sulla bobina mobile è proporzionale alla corrente che fluisce nella medesima; detta forza tende a far ruotare la bobina in senso contrario alla forza di ripristino delle condizioni iniziali dovuta alle molle a spirale.

L'angolo di rotazione è proporzionale alla forza che la molla esercita in opposizione alla bobina mobile (entro i limiti di elasticità della molla stessa).

Quando la forza di deflessione e quella di opposizione assumono il medesimo valore, allora la bobina mobile e l'indice di lettura ad esso solidale si arrestano. Poiché la forza di opposizione è proporzionale all'angolo di deflessione, da ciò segue che la forza di deflessione, ed anche la corrente che circola nella bobina, sono proporzionali al medesimo angolo.

Allorché nella bobina mobile si interrompe il flusso di corrente, anche la forza di deflessione viene a mancare per cui la forza di opposizione prodotta dalla molla a spirale riporta l'indice di lettura nella posizione di riposo corrispondente con l'inizio della scala tarata.

Se la corrente che scorre nella singola spira di conduttore in figura 22 E procede nella direzione ivi indicata (entrando nel conduttore alla destra dell'osservatore ed emergendone dalla sinistra), la direzione della forza, valutata mediante la regola della mano destra, è rivolta verso l'alto sul lato sinistro e verso il basso sul lato destro.

La direzione dello spostamento della spira e dell'indice è dunque quella oraria. Se si inverte il senso della corrente il senso di spostamento è opposto.

Strumenti a bobina mobile

Lo strumento a bobina mobile adotta un magnete permanente del tipo a ferro di cavallo, con espansioni polari in ferro dolce fissato alle sue estremità (**figura 23 E**).

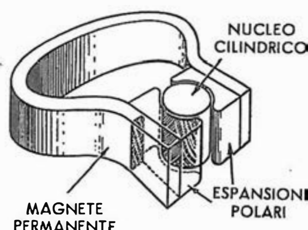


Fig. 23 E - Nel classico strumento a bobina mobile si ha anzitutto un magnete permanente a ferro di cavallo con espansioni polari in ferro dolce: tra di esse è inserito un nucleo cilindrico che accentra e rende uniforme il flusso.

Il magnete permanente presenta, tra le espansioni polari, un campo magnetico non uniforme, non adatto al funzionamento dello strumento, per cui tra dette espansioni viene posto un corpo cilindrico di ferro dolce che, oltre a rendere uniforme il campo in tutto lo spazio presente tra le espansioni, contribuisce alla conservazione del magnetismo del magnete stesso in quanto agisce come un accentratore di energia magnetica.

La bobina mobile consiste di diverse spire di filo sottile avvolte su un telaio di alluminio di forma rettangolare (**figura 24 E**), e poiché essa deve essere leggera ed in grado di muoversi liberamente, è possibile avvolgere intorno al telaio solo un limitato numero di spire.

La sottigliezza del filo permette il passaggio solo di piccole entità di corrente attraverso la bobina, quantità che variano a seconda dei modelli. Comunque, data la sensibilità, bastano in genere correnti molto deboli per provocare lo spostamento dell'indice lungo tutta la scala graduata.

L'intera bobina è alloggiata nel traferro presente tra le espansioni polari del magnete permanente ed il nucleo cilindrico di ferro dolce. Nei punti del telaio in cui sono fissate le molle a spirale, si trovano due perni di acciaio temperato, a loro volta appoggiati su piccoli zaffiri, in modo tale che la bobina sia in grado di ruotare con un minimo attrito (**figura 25 E**).

L'indice è meccanicamente collegato alla bobina mobile e si sposta contemporaneamente ad essa; per bilanciare il peso dell'indice rispetto ai perni, si usano dei piccoli contrappesi.

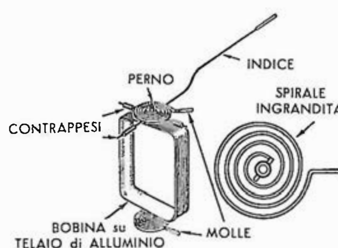


Fig. 24 E - La bobina mobile è formata da diverse spire di filo sottile avvolte su un telaio di alluminio che può ruotare su due perni. Due molle a spirale frenano il movimento e provocano il ritorno alla posizione di partenza quando cessa il passaggio di corrente.

I capi della bobina sono collegati ognuno ad una molla posta in corrispondenza di ciascun lato del telaio. Le parti terminali delle molle sono in comunicazione col circuito esterno, dal quale viene prelevata la corrente che attraversa la bobina.

Una vite posta sulla parte superiore dell'equipaggio mobile permette di regolare, in assenza di corrente, la posizione di riposo dell'indice in corrispondenza del punto « zero » della scala graduata (**figura 26 E**).

Sistemi basilari di funzionamento

Lo strumento a bobina mobile implica nel suo funzionamento tre sistemi basilari:

Sistema motore. L'indice — sappiamo — ha il compito di indicare l'ammontare della corrente che attraversa lo strumento. Ciò si ottiene grazie al sistema motore.

Quando la corrente continua percorre la bobina, nel senso stabilito, essa produce un campo magnetico, a causa del quale viene respinta dal magnete permanente. Quindi, come già è stato spiegato, l'indice, che segue la bobina nel suo movimento, permette una lettura sulla scala graduata, a seconda della quantità di corrente che scorre nella bobina.

Maggiore è la corrente, maggiore è il campo magnetico, e di conseguenza più intensa è la repulsione e quindi lo spostamento del complesso formato dalla bobina e dall'indice.

Se però la corrente attraversa la bobina in direzione opposta, si produce un campo magnetico opposto al precedente, e la bobina viene spinta nell'altro senso. In conseguenza, l'indice si sposta in senso contrario urtando contro il piccolo perno di arresto a sinistra, invece di spostarsi a destra verso la scala. Appare evidente da ciò che la corrente da misurare deve essere « applicata » allo strumento « con la polarità corretta », in modo cioè che la bobina faccia ruotare l'indice verso destra, fino al punto estremo detto **fondo scala** che non può essere oltrepassato data la presenza, anche da questo lato, di un perno d'arresto.

Sistema di controllo. L'indice deve indicare con precisione la quantità di corrente che attraversa la bobina, e ritornare a zero non appena lo strumento viene staccato dal circuito. Queste due operazioni dipendono dal sistema di controllo.

Le due molle a spirale collegate alla bobina compiono appunto la funzione di controllo dello strumento perché:

a) regolano l'entità della rotazione compiuta dalla bobina. Per questo motivo devono essere costruite con precisione affinché lo strumento possa permettere misure precise;

b) fanno tornare la bobina e l'indice alla posizione di zero non appena la corrente cessa di scorrere;

c) permettono l'entrata e l'uscita della corrente dalla bobina;

d) sono avvolte in senso opposto tra loro onde compensare le variazioni di temperatura.

Quando la corrente scorre e la bobina ruota, una delle molle si avvolge mentre l'altra si svolge. Non appena lo strumento viene staccato dal circuito esterno cessa il passaggio di corrente; entrambe le spirali ritornano alla loro posizione normale riportando nuovamente l'indice in posizione 0.

Per ottenere questo effetto non è necessario che le due spirali siano avvolte in senso opposto, ma il vantaggio di tale provvedimento sta, come si è accennato sopra, nella sua azione di compensazione allorché si verificano variazioni di temperatura.

Infatti, appena la temperatura varia, le molle a spirale o si dilatano o si restringono; se entrambe si dilatano (o si restringono), essendo avvolte in senso opposto, mentre una tende a spostare la bobina in un senso l'altra tende a spostarla in senso contrario. Le loro azioni pertanto si oppongono, gli effetti termici si neutralizzano a vicenda, essendo le molle di pari tensione, e l'indice rimane in posizione zero.

Ciò evita la regolazione della posizione zero dello strumento ogni volta che si verifica una variazione di temperatura.

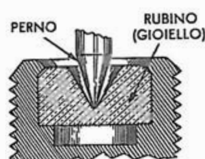


Fig. 25 E - I perni della bobina mobile — di acciaio temperato — poggiano su piccoli zaffiri in modo che la bobina sia in grado di ruotare nelle migliori condizioni e con il minimo attrito.

Normalmente le spirali sono realizzate in bronzo fosforoso antimagnetico, e presentano bassa resistenza al passaggio di corrente. Poiché sono formate da metallo buon conduttore, possono essere usate per portare la corrente tra bobina e circuito esterno.

Gli strumenti a bobina mobile presentano infine, una vite di regolazione della posizione zero, la quale agisce meccanicamente su una delle due molle (figura 26 E), consentendo di variare leggermente la posizione della bobina, e quindi dell'indice.

Se quest'ultimo non indica zero quando nessuna corrente percorre lo strumento, deve e può essere regolato mediante tale vite in modo da farlo coincidere prima di effettuare qualsiasi misura.

Sistema di smorzamento. L'indice deve pervenire e fermarsi prontamente al punto di lettura, senza oscillare. L'azione intrapresa per ottenere ciò viene definita smorzamento: i sistemi di smorzamento variano con i vari tipi di strumenti.

a) « Azione di smorzamento ». Scopo dello smorzamento è quello di permettere indicazioni rapide e corrette da parte dell'indice, senza che questi oscilli intorno al punto di lettura per un certo tempo, prima di fermarsi. La funzione dello smorzamento è analoga ad un'azione di freno nei confronti delle oscillazioni dell'indice.

Nello strumento a bobina mobile questo effetto viene ottenuto normalmente in virtù del telaio di alluminio sul quale la bobina è avvolta. Non appena la bobina si sposta per registrare un passaggio di corrente, il telaio stesso sul quale è avvolta si comporta come una bobina costituita da un'unica spira in circuito chiuso; questa spira taglia le linee di forza magnetica del magnete permanente le quali inducono in essa una tensione.

A causa di ciò, il telaio viene percorso da notevoli correnti parassite le quali, a loro volta, creano un campo magnetico circostante opposto a quello del magnete permanente. L'azione di frenatura che ne deriva rallenta il movimento della bobina.

Non appena la bobina si ferma, la tensione indotta nel telaio cessa, per cui non scorrono più le correnti parassite. Anche quando la bobina ritorna alla posizione zero, si ripete il fenomeno nel telaio di alluminio.

Ricapitolando, le correnti parassite indotte nel telaio creano un campo magnetico che si oppone a quello del magnete e frena l'azione delle molle a spirale, tendendo a portare — durante il movimento dell'equipaggio — la bobina, e perciò l'indice, verso la posizione opposta al movimento stesso.

b) « Smorzamento di un amperometro ». Quando lo strumento deve essere usato come amperometro, si collega in parallelo all'equipaggio mobile una resistenza di basso valore detta « **shunt** ».

Poiché tale resistenza si trova in parallelo alla bobina mobile, la corrente scorre in entrambe. Non appena la bobina inizia la sua rotazione, la f.e.m. opposta che si genera in essa, come ora sappiamo, si oppone alla corrente originale e tende a neutralizzarla finché la bobina si arresta.

Tale forza indotta diminuisce gradatamente mentre la corrente che percorre la bobina aumenta fino a raggiungere il suo valore normale, fino al punto cioè in cui la bobina si arresta.

La corrente che percorre lo « shunt » varia instantaneamente per compensare le variazioni di corrente attraverso la prima. Non appena lo strumento viene staccato dal circuito esterno, la bobina inizia il suo ritorno verso la posizione di riposo, tagliando le linee di forza, per cui anche allora, come è stato detto, ai suoi capi si produce una tensione indotta.

Poiché vi è lo « shunt » ai capi della bobina, una certa corrente scorre nel circuito bobina-shunt, producendo un campo magnetico che si oppone a quello del magnete permanente, costituendo così un freno anche nei confronti del movimento di ritorno a zero.

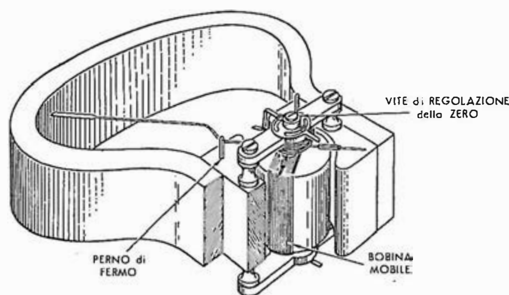


Fig. 26 E - Le diverse parti sin qui esaminate, nel loro assieme di montaggio costituente l'intero strumento. Completano quest'ultimo una vite di regolazione dell'indice (piccoli spostamenti) per farlo coincidere con lo zero della scala, a riposo, e due perni d'arresto ai due lati estremi della corsa.

Caratteristiche di uno strumento

Resistenza interna. La bobina di ciascun strumento presenta un certo valore di resistenza alla corrente continua, valore che dipende dal numero delle spire che costituiscono il suo avvolgimento e dalle dimensioni del filo con cui esse sono avvolte, nonché dalle dimensioni della bobina stessa.

Quando più numerose sono le spire che costituiscono la bobina, tanto minore è l'ammontare di corrente necessario per creare un campo magnetico abbastanza intenso da provocare la deflessione dell'indice sino al fondo scala, vale a dire nella massima posizione capace di consentire una lettura utile.

Sensibilità dell'equipaggio mobile. La sensibilità dello strumento può essere definita in due modi: in relazione alla « quantità di corrente » necessaria per la deflessione fino al fondo scala, ed in relazione al « rapporto ohm per volt ».

L'ammontare della corrente necessaria per la completa deflessione dell'indice dipende dal numero delle spire della bobina, in quanto, come si è detto, più numerose esse sono, più intenso è il campo magnetico prodotto, e quindi minore è la corrente necessaria per raggiungere il fondo scala.

Le sensibilità variano da 0,5 μA (microampère) fino a circa 50 mA (milliampère), e minore è la quantità di corrente necessaria per la completa deflessione, maggiore ovviamente è la sensibilità dello strumento.

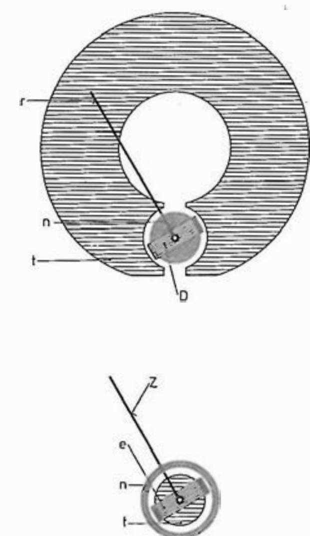
La sensibilità in « ohm per volt » è determinata dall'ammontare della resistenza che deve essere collegata in serie allo strumento per determinare la completa deflessione quando si applica la tensione di 1 volt ai capi del circuito dello strumento stesso.

Maggiore è la resistenza che deve essere applicata in serie allo strumento, maggiore è la sensibilità di quest'ultimo in ohm per volt.

La « resistenza interna », che può variare da una frazione di ohm a diverse centinaia di ohm, generalmente è abbastanza piccola da poter essere trascurata nei confronti della resistenza aggiuntiva: tuttavia, in alcuni tipi molto sensibili, che misurano pochi microampère fondo scala, la resistenza della bobina mobile è di qualche migliaio di ohm, per cui il suo valore non può più essere ritenuto trascurabile.

La sensibilità e la resistenza interna sono caratteristiche proprie dell'equipaggio mobile, e non possono essere alterate a meno che non venga modificata opportunamente la costruzione dell'equipaggio stesso.

Precisione. Gli strumenti a bobina mobile costruiti per l'uso di laboratorio sono di alta precisione (dell'ordine dello 0,1%): alcuni strumenti di precisione inferiore hanno tolleranza dello 0,5% circa.



Confronto tra uno strumento (in alto) realizzato secondo il sistema classico del magnete fisso, a ferro di cavallo (r = indice; n = ferro dolce; t = magnete; D = bobina mobile) ed un pari strumento adottante un magnete mobile, in lega, collocato all'interno di un cilindro in ferro dolce (z = indice; e = bobina; n = ferro dolce; t = magnete). È evidente la rilevante riduzione degli ingombri.

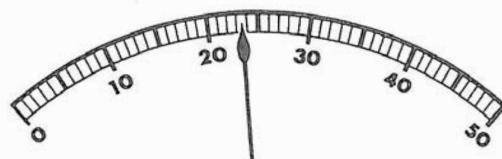
La precisione degli strumenti destinati ad usi generici è contenuta entro il 2%. Tale percentuale di precisione si riferisce esclusivamente al valore di lettura a fondo scala di ogni portata: ad esempio, se la tolleranza di uno strumento è contenuta entro il 2% su una portata massima di 500 volt, all'estremità della scala il valore letto avrà appunto una tolleranza del 2%, ossia corrisponderà a 500 volt ± 10 volt. Se, leggendo sulla medesima scala una tensione inferiore, l'errore fosse ancora di 10 volt, l'inesattezza risulterebbe maggiore del 2%; in realtà, invece, l'ammontare dell'errore diminuisce proporzionalmente rispetto allo spostamento dell'indice.

Molti strumenti tuttavia, permettono una precisione lungo la scala graduata, maggiore di quella garantita. È importante tener presente che la precisione nelle misure di tensioni e di correnti eseguite con uno strumento a bobina mobile, tende ad essere maggiore quando le misure vengono effettuate in modo che l'indice si porti in prossimità del fondo scala, a causa della maggiore comodità di lettura.

Ricordiamo infine che, quando uno strumento viene connesso ad un circuito, molte volte, per questo solo fatto nasce un particolare problema che si riferisce alla precisione: si hanno letture errate, non a causa dell'inesattezza dello strumento di per sé, bensì a causa delle variazioni apportate dallo strumento stesso alle caratteristiche del circuito e dovute alla corrente da esso stesso assorbita.

Caratteristiche della scala. La maggior parte degli strumenti a bobina mobile usati per le misure in corrente continua sono provvisti di scala lineare — con spazi eguali cioè, tra i numeri — simile a quelle illustrate in **figura 27 E.**

L'ammontare della deflessione è direttamente proporzionale alla quantità di corrente che scorre nella bobina, e quando tutta la corrente della portata la percorre, l'indice si trova a fondo scala.



Quando la corrente che scorre nella bobina corrisponde alla metà della portata, l'indice si trova nel punto centrale della scala, e così via. Ad esempio, il punto « A » della scala corri-

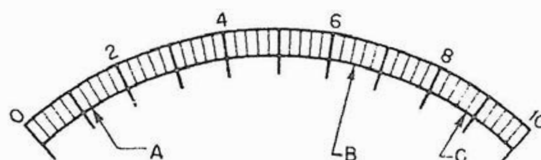


Fig. 27 E - Quasi tutti gli strumenti a bobina mobile per misure in corrente continua sono provvisti di scala ad andamento lineare. Ciò significa che l'ammontare della deflessione è direttamente proporzionale alla corrente che scorre nella bobina.

sponde ad una lettura di 1,2; il punto « B » corrisponde a 6,5 ed il punto « C » a 8,8.

In merito alle scale non lineari diremo più avanti.

Come vedremo in seguito, gli strumenti a bobina mobile sono posti in commercio in varie dimensioni e con varie caratteristiche: esistono infatti strumenti da pannello, di dimensioni notevoli, che devono funzionare in posizione verticale, altri che devono invece funzionare in posizione orizzontale, ed altri ancora il cui indice è bilanciato in modo tale che la posizione di funzionamento non influenza la precisione se non in quantità del tutto trascurabile.

I tipi in uso diversi anni fa erano generalmente di forma rotonda, con indice munito di punta a « freccia », e gli equipaggi in essi contenuti erano costituiti da grosse calamite ad anello. Oggi invece, sia per il progresso conseguito dal punto di vista estetico, sia per quello conseguito nel campo dei magneti permanenti, gli strumenti vengono realizzati e posti in commercio in forme per lo più rettangolari e con ampie scale per una comoda lettura (**figura 28 E**).

Gli equipaggi in essi contenuti utilizzano piccoli magneti permanenti in leghe speciali ad alto rendimento, che, in ridotte dimensioni, consentono di ottenere potenze che una volta potevano essere raggiunte solo con grosse e pesanti calamite.

Vedremo, più avanti, come gli strumenti a bobina mobile possano essere adattati, mediante l'impiego di altri componenti aventi determinate caratteristiche, a quasi tutti i tipi di misure che il tecnico deve correntemente effettuare nella sua attività di laboratorio.

Un esempio notissimo di sfruttamento di un unico equipaggio di misura per letture di grandezze diverse è quello del « multimetro » detto anche « tester » secondo la terminologia anglosassone. La scala in tal caso è multipla perché, ad esempio, il punto di lettura di una data tensione in corrente continua non coincide con quello dello stesso valore di tensione alternata.

Per una precisa lettura ha importanza anche il punto di osservazione della lancetta: è bene traguardare ago-indicazione da una posizione per cui l'occhio dell'osservatore risulti esattamente al di sopra (perpendicolare) della lancetta.

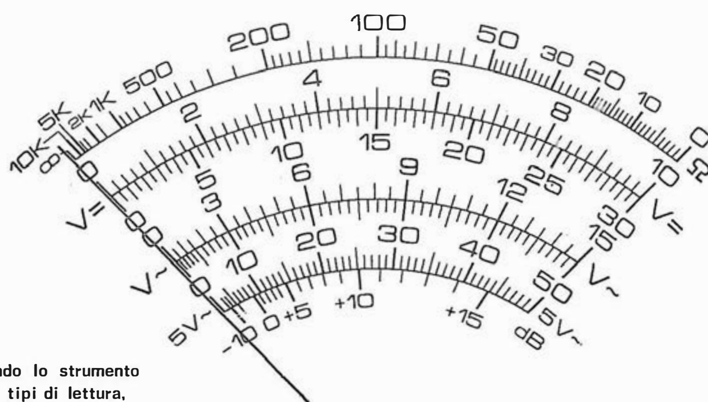


Fig. 28 E - Quando lo strumento è adibito a molti tipi di lettura, così come avviene nel suo impiego come « tester », si hanno numerose scale (in volt corr. continua, in volt corr. alternata, in ohm, ecc.). Solitamente le scritte relative alla corrente alternata sono in rosso. Questa, qui riprodotta, è la scala del « tester » o multimetro di cui più avanti (pagina 25 e) riportiamo la descrizione costruttiva.

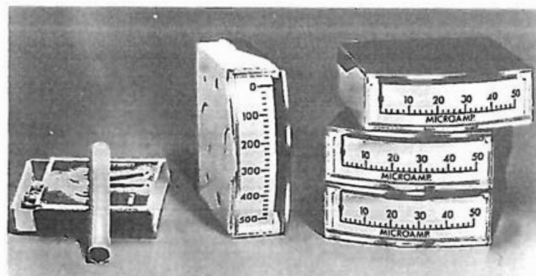


Fig. 28 E - Si costruiscono strumenti molto piccoli che, in questa forma offrono il vantaggio di una scala a massima lunghezza per un ingombro minimo. Possono essere facilmente montati sovrapposti o affiancati, avere scala illuminata, stampata a diverso colore, ecc.

Misure della corrente continua

Aumento della portata

Gli strumenti usati correntemente in elettronica possono essere in grado di misurare tensioni continue da un minimo di una frazione di volt, ad un massimo di 1500 volt o più, e correnti continue da un minimo di una frazione di milliampère ad un massimo di 10 ampère e oltre; essi si prestano inoltre alla misura delle resistenze con diverse portate.

In linea di massima possono essere attuate varie modifiche al circuito di uno strumento allo scopo di adattarlo alle diverse portate, in modo da disporre così di uno strumento d'uso cosiddetto universale, a meno che non sia necessario, per determinate ragioni, usare un singolo strumento per ogni portata.

Se si tenta di misurare una corrente maggiore della sensibilità massima dello strumento di cui si dispone, accade che esso, ovviamente, viene percorso da una corrente eccessiva col pericolo di gravi danni, in quanto nella bobina scorre una corrente superiore alla massima della sua portata: l'indice oltrepassa il fondo scala colpendo la molletta di fermo a destra, e tutto questo può causare la flessione dell'indice stesso, o la interruzione della bobina, o entrambi gli inconvenienti.

Ad esempio, supponiamo che uno strumento da 1 mA con resistenza interna di 27 ohm sia collegato in parallelo ad una sorgente di 1 volt: in questo caso perciò 1 solo milliampère è sufficiente e necessario per la completa deviazione dell'indice su tutta la scala.

Secondo la legge di Ohm, la corrente che scorre in tale circuito è:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{1}{27} = 0,037 \text{ ampère},$$

ossia 37 milliampère per cui 37 mA scorrono in uno strumento nel quale basta 1 mA per provocare la completa deflessione dell'indice.

Il circuito esterno di uno strumento deve perciò essere modificato, prima che lo strumento venga usato per misurare le varie correnti e tensioni di uso normale.

Mentre per usare lo strumento « come voltmetro gli si aggiunge una resistenza di valore alto (resistenza addizionale) in serie » — allo scopo di ridurre la corrente ad un valore che possa essere sopportato sebbene lo strumento venga collegato ad una sorgente di tensione alta — per usarlo « come amperometro, gli si aggiunge una resistenza di valore basso in parallelo », allo scopo di fornire alla corrente una seconda strada da percorrere.

In quest'ultimo caso, che si identifica con quello sopra ipotizzato, la corrente si distribuisce parte nello strumento e parte nella resistenza in parallelo, e la prima viene contenuta entro i limiti dello strumento stesso.

Riassumendo, le regole per modificare il circuito esterno sono le seguenti:

1) per l'uso come voltmetro, collegare un'alta resistenza in serie alla bobina mobile;

2) per l'uso come amperometro, collegare in parallelo una bassa resistenza.

Vediamo ora dettagliatamente come si procede per il calcolo delle resistenze aggiuntive, siano esse da porsi in serie che in parallelo, in relazione allo strumento disponibile.

Voltmetro tipico

Calcolo della resistenza addizionale

Per trovare il valore della resistenza in serie occorrente per misurare una data tensione, è necessario conoscere la portata dello strumento, la sua resistenza interna, ed il valore della tensione da misurare, dopo di che è possibile effettuare il calcolo mediante la legge di Ohm.

Si desidera, ad esempio, usare uno strumento da 1 mA f. s. (fondo scala), che ha una resistenza interna di 27 ohm, per misurare una tensione di 10 volt f. s. (vedi **figura 29 E**).

Sappiamo dunque che la corrente massima che lo strumento può sopportare è di 1 mA, e, poiché i valori di tensione (10 volt), e di corrente (1 mA), sono anch'essi noti, l'intera resistenza del circuito dello strumento deve essere:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{10}{0,001} = 10.000 \text{ ohm}$$

Quando la resistenza in serie è molto alta in confronto a quella interna dello strumento, non è necessario detrarre il valore di quest'ultima dal valore occorrente della resistenza addizionale ricavato come sopra.

Da quanto si è visto, si ha che in un circuito in cui la tensione applicata sia di 10 volt, ed in cui in serie allo strumento venga collegata una resistenza di 10.000 ohm, la corrente che scorre è di 1 milliampère e con detta corrente l'indice raggiungerà il fondo scala; lo strumento può perciò misurare 10 volt senza essere danneggiato purché sia collegato in serie a detta resistenza di 10.000 ohm. Tale resistenza viene chiamata « addizionale » in quanto aumenta la portata in tensione dello strumento.

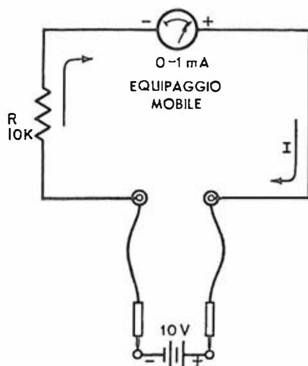


Fig. 29 E - La resistenza in serie « R » limita al giusto valore il passaggio di corrente attraverso la bobina mobile.

Stante ciò, è possibile tarare la scala in volt, e, nel caso preso ad esempio, la lettura di 10 volt rappresenta il fondo scala; se lo strumento viene usato per misurare una tensione di 5 volt, la corrente che lo percorre è di soli 0,5 milliampère.

Poiché $I = E : R$
si ha $5 : 10.000 = 0,0005$ ampère $= 0,5$ mA.

Tale valore corrisponde alla metà della corrente massima che può percorrere lo strumento, per cui la bobina mobile determina un campo magnetico pari alla metà di quello massimo: l'indice si porta al centro della scala, ove viene indicato appunto il valore di 5 volt.

La deflessione corrispondente ad un quarto della scala equivale evidentemente a 2,5 volt, e tutte le altre letture sono proporzionali.

Con il metodo descritto è possibile estendere la portata dello strumento a qualsiasi valore. Supponiamo di voler aumentare la portata fino al valore di 500 volt f.s.

Applichiamo la legge di Ohm per calcolare la resistenza necessaria per limitare la corrente al massimo valore consentito dallo strumento: se questo è il medesimo strumento di cui sopra, la resistenza sarà data da:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{500}{0,001} = 500.000 \text{ ohm}$$

Perciò, collegando una resistenza di 500.000 ohm in serie alla bobina mobile, è possibile usare lo strumento per misurare 500 volt f.s.; in questo caso è sempre la corrente di un solo milliampère che scorre attraverso la bobina provocando di conseguenza l'esatta deviazione dell'indice su tutta la scala.

Mediante il fattore «ohm per volt»

Un altro sistema per calcolare la resistenza addizionale è basato sul fattore ohm/V (ohm per volt) il quale non è altro che un modo per esprimere la sensibilità dello strumento.

Poiché la corrente è data da **E : R**, e il fattore ohm/V equivale a **R : E**, la sensibilità in ohm per volt è data da

$$\text{sensibilità in ohm/V} = \frac{1}{\text{sensibilità in corrente}}$$

Ad esempio, se uno strumento ha la sensibilità di 1 mA f.s., sappiamo che ciò significa che 1 mA provoca l'intera escursione dell'indice: se si desidera che il medesimo strumento possa misurare 10 volt f.s., la sensibilità può essere convertita in fattore ohm/V calcolando l'ammontare della resistenza che deve essere collegata in serie affinché lo strumento possa leggere 1 volt a fondo scala.

Per misurare 1 volt la resistenza che deve essere inserita in serie allo strumento da 1 mA f.s. è $R = E : I = 1 : 0,001 = 1000$ ohm; per avere una portata di 10 volt f.s. è necessario collegare in serie alla bobina mobile una resistenza 10 volte superiore; « in altre parole uno strumento da 1 mA f.s. può essere definito uno strumento da 1000 ohm/V ».

Correntemente si usa definire appunto in ohm/V la sensibilità di uno strumento in quanto tale fattore è più comodo per determinare quale resistenza addizionale è necessaria per ogni portata.

Se si desidera aumentare la portata di uno strumento da 5000 ohm/V avente una resistenza interna di 75 ohm, ad un valore di 300 volt f.s., basta moltiplicare il fattore ohm/V per 300, percio:

$300 \times 5000 = 1.500.000$ (ossia 1,5 Mohm).

In questo caso la resistenza interna dello strumento (75 ohm), come si è già accennato, è trascurabile.

Concludendo, l'impiego del fattore ohm/V costituisce un metodo pratico per determinare la sensibilità di uno strumento.

Minore è la corrente necessaria per la completa deflessione dell'indice, maggiore è la resistenza che deve essere messa in serie alla bobina mobile per misurare ogni volt, e maggiore è quindi la sensibilità; una volta noto tale fattore, basta moltiplicarlo per la portata desiderata in volt per ottenere il valore della resistenza addizionale.

Voltmetri a diverse portate

Resistenze addizionali separate

È logico che, se con l'aggiunta di una resistenza addizionale si aumenta la portata di un voltmetro, mediante l'impiego di un commutatore o di varie prese, facenti capo a diverse resistenze come è illustrato nella **figura 30 E** rispettivamente sez. « A », « B », « C » e « D », è possibile adattare un voltmetro a diverse portate. Ad esempio, si desidera disporre di un voltmetro a 5 portate commutabili, con resistenza interna di 18 ohm. Le portate richieste sono 5, 50, 250 e 500 volt a fondo scala (figura 30 E sez. « A »).

Il primo passo da compiere consiste nel convertire la sensibilità nel fattore

$$\text{ohm/V} = \frac{1}{\text{sensibilità in corrente}} = 1 : 0,002 = 500 \text{ ohm/V}.$$

La resistenza addizionale R_1 per la portata di 5 volt, corrisponde a 5 volte 500, ossia 2500 ohm; R_2 per la portata di 50 volt equivale a 50 volte 500 ossia 25.000 ohm; R_3 per la portata di 250 volt equivale a 250 volte 500 ossia 125.000 ohm, ed infine R_4 per la portata di

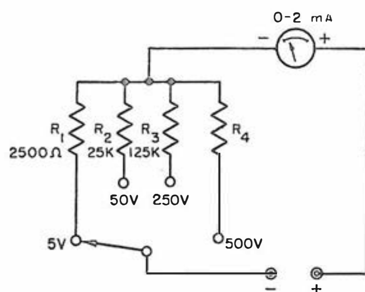


Fig. 30 E - Ponendo più resistenze, ognuna di appropriato valore, ed ognuna singolarmente, in serie allo strumento, si possono predisporre portate diverse di lettura voltmetrica. La scelta è fatta dal commutatore.

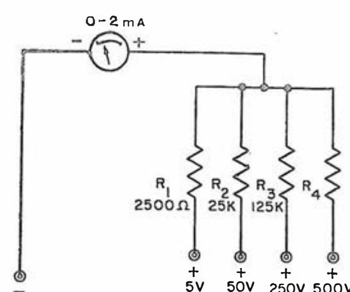


Fig. 30 E - In questo caso la scelta della portata è ottenuta non per azione di un commutatore ma inserendo un puntale nella boccola relativa; l'altro puntale (—) rimane sempre nella sua boccola.

500 volt equivale a 500 volte 500 ossia 250.000 ohm.

Le resistenze R_1, R_2, R_3 ed R_4 sono collegate ad un commutatore come nella sez. « A » nella figura, ed ognuna delle quattro portate può essere scelta portando il commutatore sulla rispettiva resistenza. Nella sez. « B » della medesima figura, le resistenze sono collegate a varie boccole invece che ad un commutatore. Il terminale negativo comune viene inserito nella boccola negativa, mentre l'altro viene inserito in quella positiva corrispondente alla portata desiderata.

Resistenze addizionali in serie tra loro

La sezione « C » della figura 30 E illustra la realizzazione di un altro strumento con resistenze addizionali in serie e l'uso di commutatore per le diverse portate.

La sezione « D » della stessa figura è relativa invece alla soluzione che ricorre alle prese; in questo caso, come si è detto, uno dei puntali viene inserito nella boccola comune a tutte le portate (terminale negativo), mentre l'altro viene inserito nella boccola corrispondente alla portata desiderata.

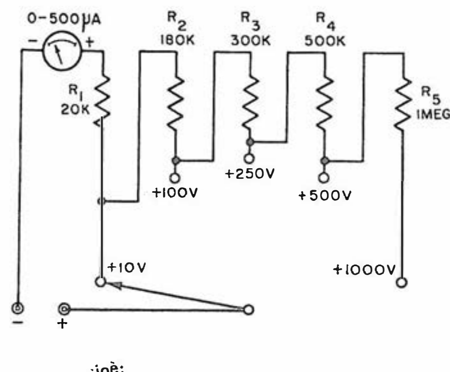


Fig. 30 E - Secondo questa soluzione, le resistenze per le varie portate sono sempre in serie allo strumento, ma anche in serie tra loro. La scelta è fatta con commutatore.

:ioè:

Trattandosi di un tipo di moltiplicatore in serie, è necessario innanzitutto calcolare il valore di R_1, ossia della resistenza per la portata più bassa, dopo di che si trova la resistenza totale

adatta per la portata immediatamente superiore: dalla cifra ricavata si sottrae il valore di R_1, ed in tal modo si ottiene il valore di R_2.

Ad esempio, supponiamo, come da figura (sez. « C » e « D »), che si debba realizzare un voltmetro a 5 portate mediante uno strumento da 0,5 mA fondo scala, ossia da 500 μ A, con una bobina da 55 ohm, e che dette portate debbano essere di 10, 100, 250, 500 e 1500 volt a fondo scala.

Poiché la corrente massima è di 0,5 mA, la sensibilità in ohm/volt è pari a 1 : 0,0005, ossia 2000 ohm per volt; la resistenza addizionale R_1 per la portata 10 volt f.s. sarà 2000 volte 10, ossia 20.000 ohm.

Per la portata a 100 volt f.s. è necessaria una resistenza addizionale pari a 100 volte 2000, ossia 200.000 ohm, però, essendo essa in serie ad R_1, il suo valore dovrà essere 200.000 meno 20.000, ossia 180.000 ohm.

In tal caso, quando il puntale dello strumento verrà inserito nella portata a 100 volt f.s., in serie allo strumento si troverà una resistenza totale di 200.000 ohm — la resistenza effettivamente necessaria — la quale è costituita dalla somma delle due resistenze R_1 ed R_2 collegate in serie tra loro.

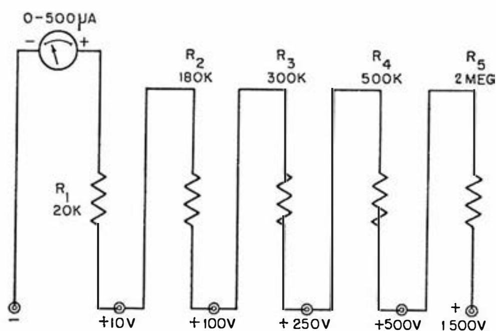


Fig. 30 E - Si tratta di un sistema eguale a quello della figura precedente (resistenze in serie): il calcolo dei valori è eseguito nello stesso modo. La scelta delle portate avviene però con lo spostamento di un puntale.

Per la portata a 250 volt f.s. la resistenza addizionale deve essere di 250 volte 2000, ossia 500.000 ohm, di cui 200.000 sono già costituiti da R_1 ed R_2, per cui R_3 deve essere soltanto del valore necessario affinché si raggiunga il valore totale di 500.000, ossia 500.000 — — 200.000 = 300.000 ohm.

Per la portata a 500 volt f.s. la resistenza totale sarà di 1.000.000 ohm; R_4 sarà di 1.000.000 — 500.000 = 500.000 ohm, in quanto si trova in serie ad R_1, R_2 ed R_3, la cui somma è appunto 500.000, ed infine, procedendo in modo analogo, per 1000 volt si avrà: 2.000.000 (valore necessario) — 1.000.000 (valore già esistente) = 1.000.000 ohm, valore per R_5 nella sezione « C » della figura o, ancora, per 1500 volt, 3.000.000 — 1.000.000 = 2.000.000 ohm, valore per R_5 nella sezione « D ».

Tipi di moltiplicatori

Le resistenze usate per estendere le portate dei voltmetri possono essere tanto a filo che chimiche.

Negli strumenti di alta precisione, si usano generalmente resistenze a filo con una tolleranza dello 0,1% tuttavia, si possono usare anche resistenze chimiche, purché il loro valore sia compreso entro limiti accettabili di precisione.

Le resistenze chimiche vengono generalmente impiegate negli strumenti più economici, nei quali una indicazione sufficientemente approssimata può sostituirne una rigorosamente esatta, oppure in strumenti di una certa precisione in casi di emergenza.

È comunque importante sapere che, in ogni caso, le resistenze addizionali a filo possono essere realizzate solo dai valori minimi fino ad massimo di qualche decina di migliaia di ohm, mentre per valori più alti si usano resistenze chimiche, e ciò unicamente per il fatto che resistenze dell'ordine delle centinaia di kohm o dei Mohm realizzate con filo, oltre ad occupare un notevole spazio, avrebbero un costo addirittura proibitivo.

A questo scopo, le fabbriche di resistenze chimiche producono, oltre al normale assortimento di resistenze con tolleranza del 5, del 10 o del 20%, anche resistenze speciali, particolarmente selezionate, con tolleranze dell'1% o anche meno, che possono essere usate per le portate alte dei voltmetri di precisione.

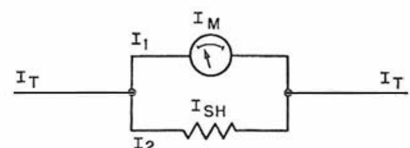
Va naturalmente inteso che la produzione di tali resistenze chimiche di precisione non è conseguente, almeno normalmente, ad uno speciale procedimento di preparazione, ma è ottenuta scegliendo dalla produzione comune gli elementi con più stretta tolleranza.

Amperometro tipico

Per effettuare una misura di corrente, è necessario interrompere il circuito e collegare un amperometro nel punto di interruzione, ristabilendo il circuito attraverso lo strumento stesso.

Quando quest'ultimo è in serie agli altri componenti — e l'intera corrente da misurare è maggiore alla massima che esso può misurare — è possibile collegare una piccola resistenza in parallelo alla bobina mobile onde deviare una parte della corrente stessa (vedi **figura 31 E**).

Fig. 31 E - Nel caso di misuratori di corrente (amperometri, milliamperometri, ecc.) la resistenza che devia l'eccesso di corrente deve essere posta in parallelo allo strumento; essa prende il nome di « shunt ».



Poiché gli strumenti sono di solito milliamperometri o microamperometri, è possibile estenderne la portata mediante l'impiego degli « shunt », i quali non sono altro che resistenze di valore determinato che vengono collegate « in parallelo », ossia in derivazione, alla bobina mobile dello strumento.

La corrente con resistenze in parallelo

Formula per il calcolo degli « shunt »

Sappiamo già che in un circuito consistente di due resistenze in parallelo, la corrente si divide in modo tale che nella resistenza avente il valore più basso essa scorre in quantità maggiore e viceversa.

Non è male qui rivedere quanto abbiamo già appreso in proposito.

Se due resistenze, R_1 ed R_2 sono in parallelo, la tensione presente ai capi di entrambe è la medesima, ossia E_1 equivale ad E_2 (**figura 32 E**).

Inoltre $E_1 = I_1 \times R_1$
e $E_2 = I_2 \times R_2$
Poiché $E_1 = E_2$, si ha che $I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2$

e trasponendo, $$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Questa equazione stabilisce che in un circuito in parallelo contenente due resistenze, la corrente presente in ognuna di esse è inversamente proporzionale al suo valore: se una ha un valore doppio dell'altra, la corrente che scorre nella resistenza maggiore è esattamente la metà di quella che scorre nella minore, ed analogamente, se una è il triplo dell'altra, la sua corrente sarà pari ad un terzo.

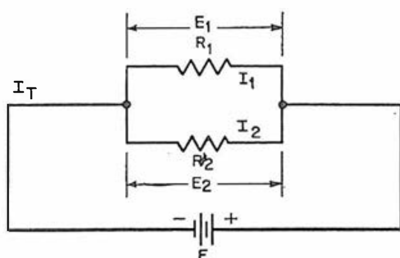


Fig. 32 E - La tensione ai capi delle due resistenze in parallelo essendo eguale, si ha un passaggio di corrente in ogni resistenza, inversamente proporzionale al suo valore.

Ciò è vero in quanto la legge di Ohm stabilisce che **I** volte **R** deve corrispondere alla medesima tensione se le resistenze sono in parallelo.

I due circuiti testè visti mostrano l'analogia tra un circuito in parallelo contenente due resistenze, e la combinazione tra la resistenza interna di uno strumento ed una seconda resistenza posta in parallelo a quest'ultima.

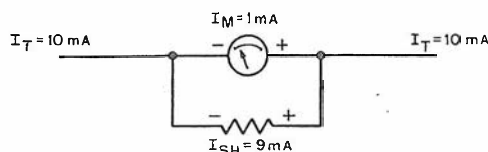


Fig. 33 E - Dovendo misurare 10 mA massimi con uno strumento da 1 mA a fondo scala, si provvederà con uno « shunt » ad assorbire i 9 mA che risultano eccessivi per la portata dello strumento.

La formula testè enunciata può essere modificata come segue:

$$R_1 = \frac{R_2 I_2}{I_1}$$

e, dal momento che i due circuiti sono analoghi, al circuito di figura 31 E si può applicare la seguente formula:

$$Rsh = \frac{Rm\ Im}{I_{sh}}$$

nella quale **Rsh** è la resistenza dello « shunt », **Rm** quella della bobina mobile, **Im** la corrente massima necessaria per provocare la deflessione dell'indice dello strumento fino al fondo scala, ed infine **Ish** la quantità di corrente che deve passare attraverso lo « shunt ».

Tale formula può essere utilizzata per calcolare i vari valori degli « shunt » da collegare in parallelo ad un dato strumento.

Supponiamo che si desideri estendere la portata di uno strumento da 1 mA f.s. e bobina da 27 ohm, a 10 milliampère.

Ciò significa che, quando l'indice si trova a fondo scala, nel circuito deve scorrere una corrente di 10 mA (vedi **figura 33 E**).

Dal momento che l'equipaggio mobile può sopportare soltanto 1 mA, lo « shunt » deve permettere il passaggio della intera differenza, ossia di 9 milliampère.

Al fine di calcolare la resistenza opportuna che lo « shunt » deve avere si usa la formula testé citata che dà il valore di R_{sh}.

$$R_{sh} = \frac{Rm\ Im}{I_{sh}} = \frac{27 \times 0{,}001}{0{,}009} = 3 \text{ ohm}$$

La cifra usata per I_{sh} rappresente la corrente effettiva che scorrerà nello « shunt », ossia 9 mA, corrispondenti alla corrente totale meno quella che passa attraverso lo strumento, e non la corrente totale che, come sappiamo, è di 10 milliampère.

Dal momento che lo « shunt » ha un valore pari ad 1/9 di quello della bobina mobile, la corrente che lo percorre sarà pari a 9 volte quella che passa attraverso quest'ultima.

Se lo strumento viene collegato in un circuito la cui corrente ammonta a 5 mA, questa si dividerà tra la bobina e lo « shunt » con un rapporto di 1 a 9, per cui attraverso la prima passeranno 0,5 mA, ed attraverso il secondo 4,5 mA, il che corrisponde ad una deflessione dell'indice di metà della scala (0,5 mA).

Poiché l'intera scala copre la portata di 10 mA, detta deflessione segnerà il valore di 5 mA, e a tutti gli altri valori di corrente compresi tra 0 e 10 mA corrisponderanno spostamenti proporzionali.

La resistenza interna dell'equipaggio mobile deve essere tenuta sempre in considerazione nel calcolo del valore dello « shunt », in quanto

detto valore è strettamente legato al primo, mentre a volte è possibile ignorarla, come già si è visto nel calcolo delle resistenze addizionali per i voltmetri.

Queste resistenze, infatti sono generalmente di valore piuttosto alto, rispetto alla resistenza della bobina mobile, e il valore di quest'ultima diventa trascurabile.

Tipi di «shunt»

In elettronica si misurano generalmente correnti di piccola entità; gli « shunt » sono di solito interni agli strumenti, e realizzati in rame, nichelcromo, argentana o con qualsiasi altro conduttore a bassa resistenza.

Quando invece la corrente da misurare è maggiore di 30 A, lo « shunt » viene posto esternamente allo strumento onde evitare che quest'ultimo venga danneggiato a causa del calore che si sviluppa in seguito al passaggio di una corrente così alta.

Per tali « shunt » a bassa resistenza si usano blocchetti di rame o di manganina, in quanto hanno un coefficiente termico relativamente basso, e possono sopportare correnti estremamente forti.

La resistenza di questi « shunt » è di valore molto basso (molto meno di 1 ohm): i terminali di collegamento ne fanno parte integrante, e qualsiasi variazione della lunghezza determina una variazione della precisione della lettura.

Amperometri a portate multiple

«Shunt» multipli

Negli amperometri a portate multiple è necessario avere diversi valori di fondo scala. Anche per gli amperometri, così come abbiamo visto per i voltmetri, il passaggio dall'uno all'altro valore può essere realizzato o mediante un sistema a commutatore (vedi **figura 34 E**), o mediante varie boccole nelle quali si inserisce il puntale dello strumento.

Ad esempio, se si desidera estendere la portata di uno strumento da 10 mA onde poter effettuare misure nelle varie portate da 0 a 10 mA, da 0 a 100 mA, da 0 a 1 A e da 0 a 10 A, per la prima gamma non è necessaria la presenza dello « shunt » in quanto essa costituisce già la portata base dello strumento.

Per la seconda portata (da 0 a 100 mA), **Rsh** equivale a **Rm Im : Ish**, ossia a 9 volte il rapporto 0,01 : 0,09, ossia 1 ohm.

Per la terza portata, (da 0 a 1 A), **Rhs** è eguale a 9 volte il rapporto 0,01 : 0,99, ossia 0,091 ohm.

Per la quarta portata infine si considera il valore di 10 A invece del valore effettivo di 9,99 A in quanto non esiste praticamente una differenza numerica usando alternativamente i due valori, mentre invece resta facilitato il calcolo.

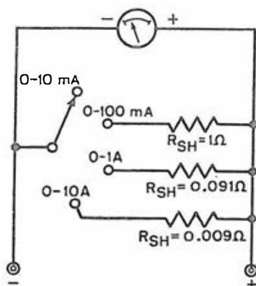


Fig. 34 E - Così come per disporre di diverse portate nel caso dei voltmetri si prevedono commutatori di resistenze addizionali (in serie), nel caso dei misuratori di corrente si prevede la commutazione di diversi valori di « shunt » (in parallelo).

«Shunt» a circuito chiuso o ad anello

Molti tipi di milliamperometri commerciali impiegano « shunt » a prese intermedie — detti anche ad anello — invece di « shunt » separati.

Secondo questo sistema, una parte della resistenza si trova in serie all'equipaggio mobile, mentre l'altra parte è collegata in parallelo, dipendendo ciò dalla portata (vedi **figura 35 E**).

Ad esempio, nella portata più bassa, e precisamente da 0 a 15 mA, l'intera resistenza dello « shunt », costituita da R_1, R_2 ed R_3 si trova in parallelo alla bobina mobile, come è illustrato nella sez. « A » della figura.

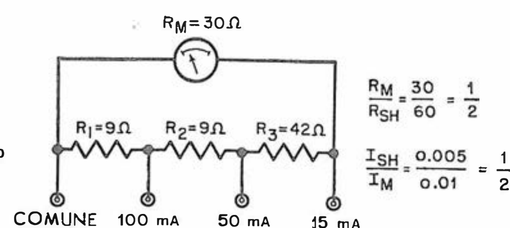


Fig. 35 E - Molte volte si adottano « shunt » multipli a circuito chiuso: in essi, a seconda della portata si ha una parte di resistenza in parallelo ed una parte in serie allo strumento. Qui nella portata più bassa, tutta la resistenza ($R_1 + R_2 + R_3$) risulta inserita in parallelo.

Nella portata successiva — da 0 a 50 mA — R_3 si trova in serie allo strumento, mentre R_1 ed R_2 sono in parallelo, come è illustrato nella sezione « B ».

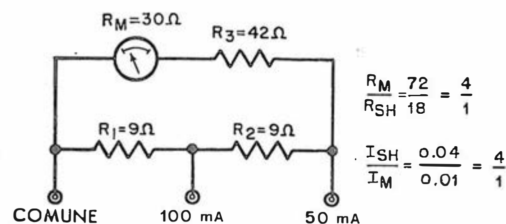


Fig. 35 E - Nella portata di 50 mA due delle resistenze (R_1 ed R_2) risultano ancora in parallelo allo strumento che però ha in serie R_3; di ciò occorre tenere debito conto nel calcolo dei valori resistivi.

Nella portata più alta infine — da 0 a 100 mA — R_2 ed R_3 sono in serie, mentre R_1 è in parallelo al circuito costituito dallo strumento e dalle due resistenze R_2 ed R_3 come è illustrato nella sez. « C ».

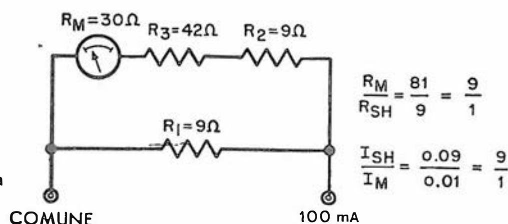


Fig. 35 E - Per la portata più alta risulta come « shunt » solo R_1: essa è in parallelo all'assieme strumento + R_3 + R_2. Queste ultime due resistenze risultano infatti in serie allo strumento stesso.

Il sistema di « shunt » ad anello ha un vantaggio rispetto a quello degli « shunt » separati perché, dal momento che una parte della resistenza totale si trova in serie allo strumento, la parte di resistenza in parallelo che ha il compito di assorbire la maggior parte della corrente non deve essere di valore eccessivamen-

te basso in quanto detto valore è proporzionale al valore della resistenza shuntata, che naturalmente viene ad essere maggiore che non quello della sola bobina mobile.

Per calcolare i valori degli « shunt » ad anello è necessario comprendere perfettamente le relazioni che intercorrono tra le resistenze in parallelo ed in serie, e le relative correnti.

Nella **figura 36 E**, R_A è di 30 ohm, R_B di 60 ohm: esse sono in parallelo. Se in questo circuito scorre una corrente totale di 3 mA, un terzo della corrente, ossia 30 : 90, scorrera attraverso la resistenza di 60 ohm (valore resistivo più alto) e due terzi, ossia 60 : 90, scorreranno nella resistenza di 30 ohm (valore resistivo più basso).

La corrente di 2 mA presente nella resistenza più piccola R_A, è il doppio di quella che scorre in R_B.

Il rapporto tra la corrente di un ramo e la corrente totale è il medesimo che esiste tra il valore della resistenza del ramo opposto, e la somma delle due resistenze (R_T).

Ossia
$$\frac{I_A}{I_T} = \frac{R_B}{R_T}$$

nella quale R_T equivale a $R_A + R_B$, e I_T equivale $I_A + I_B$.

Ciò apparirà più chiaro sostituendo il valore nelle equazioni:

$$\frac{I_A}{I_T} = \frac{R_B}{R_T} = \frac{2}{3} = \frac{60}{90}$$

Moltiplicando entrambi i membri per R_T, la formula diventa:

$$R_B = \frac{R_T\, I_A}{I_T}$$

Per usare questa formula onde calcolare lo « shunt » dello strumento, supponiamo che le due resistenze in parallelo rappresentino rispettivamente una bobina mobile ed il suo « shunt ». La sotto-lettera A diventa M, e B diventa SH. La formula diventa così:

$$R_{SH} = \frac{R_T\, I_M}{I_T}$$

Per risolvere i problemi relativi agli « shunt » ad anello si trova innanzitutto il valore dell'intero « shunt » mediante la formula:

$$R_{SH} = I_M R_M : I_{SH}$$

e gli « shunt » individuali costituenti l'anello vengono calcolati usando invece la formula:

$$R_{SH} = \frac{R_T\, I_M}{I_T}$$

Ad esempio, calcoliamo i singoli valori delle resistenze costituenti lo « shunt » ad anello illustrato nella figura 35 E.

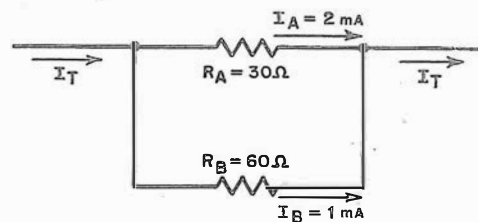


Fig. 36 E - Se R_A è di 30 ohm ed R_B di 60 ohm, e si ha una corrente totale I di 3 mA, nel valore resistivo più alto scorrerà un terzo della corrente (1 mA), nel valore resistivo più basso i due terzi (2 mA).

Lo strumento ha una bobina mobile da 10 mA, 30 ohm. Innanzitutto, è necessario trovare il valore dell'intero « shunt » ossia $R_1 + R_2 + R_3$. Nella portata 15 mA, tutte le resistenze sono in serie ($R_1 + R_2 + R_3$) e nel loro assieme risultano in parallelo alla bobina mobile dello strumento.

Usando la vecchia formula dello « shunt », si ha:

$$R_{SH} = \frac{I_M\, R_M}{I_{SH}} = \frac{0{,}01 \times 30}{0{,}005} = 60 \text{ ohm}$$

quindi $R_1 + R_2 + R_3$ equivale a 60 ohm. Ora che conosciamo l'intero valore dello « shunt », è possibile calcolare R_T computando i valori delle singole resistenze presenti nel circuito ad anello.

È opportuno ricordare che per R_T si intende la somma dell'intero « shunt » più la resistenza interna dello strumento. Poiché lo « shunt » totale è, come abbiamo visto, di 60 ohm, e la resistenza interna è di 30 ohm, R_T equivale a 90 ohm.

A questo punto si può calcolare il valore dello « shunt » per la portata più alta (da 0 a 100 mA): per questa portata, come nella sez. « C », R_1 agisce da « shunt », e, usando la formula dello « shunt » ad anello, si ha:

$$R_1 = \frac{R_T\, I_M}{I_T} = \frac{90 \times 0{,}01}{0{,}01} = 9 \text{ ohm.}$$

Nella portata da 50 mA lo « shunt » è costituito da $R_1 + R_2$ (vedi sez. « B » della figura) e

$$R_1 + R_2 = \frac{R_T\, I_M}{I_T} = \frac{90 \times 0{,}01}{0{,}05} = 18 \text{ ohm.}$$

Dal momento che R_1 è di 9 ohm, ed $R_1 + R_2$ è = 18 ohm, è ovvio che R_2 deve essere di 9 ohm, quindi R_3 avrà un valore pari alla differenza tra 60 e 18, ossia 42 ohm.

Strumenti ad alta resistenza

Quando si usa uno strumento a bassa resistenza per misurare una tensione presente ai capi di una resistenza di alto valore, è probabile che le condizioni del circuito vengano alterate, dal che consegue una lettura inesatta.

Ad esempio, nella sez. « A » della **figura 37 E**, due resistenze da 100.000 ohm sono in serie

tra loro ed in parallelo ad una batteria da 60 volt. Essendo le due resistenze eguali, ai capi di ognuna di esse avremo 30 volt.

Supponiamo di collegare uno strumento da 1000 ohm per volt ai capi di R_1, mettendolo nella portata 100 volt come nella sez. « B ».

In questo caso avremo una resistenza di 100.000 ohm in serie allo strumento (pari a 100 volt × 1000). Quando detto strumento viene collegato ai capi di R_1, due resistenze da 100.000 ohm vengono a trovarsi in parallelo, per cui il valore totale scende a 50.000 ohm.

A causa di questa variazione di resistenza, varia contemporaneamente la distribuzione delle tensioni nei circuiti.

La resistenza totale che prima era di 200.000 ohm, è ora di 150.000, e poiché R_2 ha assunto ora un valore pari a 2/3 della resistenza totale in serie al circuito, ai capi avremo 40 volt — pari a 2/3 della tensione totale — mentre avremo soltanto 20 volt ai capi della combinazione tra R_1 e la resistenza dello strumento.

Lo strumento legge sempre la tensione presente ai suoi capi, ed in questo caso legge 20 volt, ma, non appena esso viene staccato, la tensione presente ai capi di R_1 torna ad essere di 30 volt. Quindi, abbiamo letto 20 laddove esiste 30.

Da ciò possiamo dedurre che se la resistenza interna di un voltmetro è troppo bassa rispetto a quella dell'elemento ai capi del quale si desidera misurare la tensione, si ha come risultato una lettura inesatta.

Quando invece si usa uno strumento più sensibile, con una resistenza addizionale di valore più alto, la lettura è ovviamente più precisa.

Uno strumento da 20.000 ohm per volt ha, nella portata a 100 volt, una resistenza in serie di 2.000.000 ohm, e, quando tale resistenza viene collegata in parallelo ai 100.000 ohm di R_1, detto valore rimane praticamente il medesimo agli effetti pratici, per cui non si verificano variazioni di tensione apprezzabili, la tensione rimane a 30 volt, e lo strumento effettua la lettura conformemente.

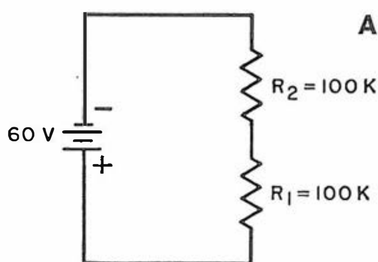


Fig. 37 E - Se ad un circuito formato da due resistenze di eguale valore (100 kohm) in serie tra loro, sono avviati 60 volt, avremo ovviamente 30 volt ai capi di ogni singola resistenza.

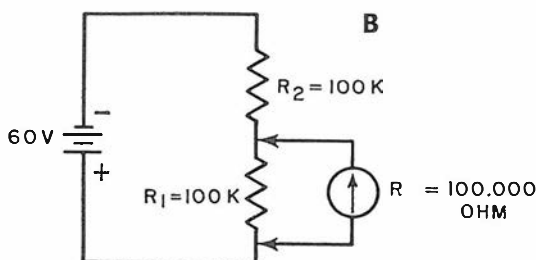


Fig. 37 E - I 30 volt presenti nel caso della figura di cui sopra non sono più tali se ai capi di una resistenza viene posto uno strumento a bassa resistenza totale, dato il suo notevole assorbimento.

Maggiore è la sensibilità dello strumento, e maggiore deve essere la resistenza addizionale per una data portata, per cui ne consegue che le perturbazioni apportate nei circuiti sono di minore entità e le lettture sono più esatte.

Qualora si disponga unicamente di uno strumento a bassa resistenza per effettuare delle letture di tensione in un circuito ad alta resistenza, l'effetto di « shunt » che lo strumento provoca deve ovviamente essere tenuto in considerazione.

Tale effetto può essere ridotto al minimo effettuando la misura col voltmetro adattato alla sua portata maggiore, anche se, in questo caso, la deflessione dell'indice non è molto grande: la resistenza addizionale dello strumento, essendo il valore più elevato, apporta al circuito variazioni di minore entità.

Se però in questo caso si ha un minore effetto di « shunt » da parte dello strumento, d'altro canto si ha che la precisione di lettura viene egualmente compromessa a causa dello spostamento minimo da parte dell'indice, poiché, tra l'altro — come abbiamo visto precedentemente — le letture sono tanto più precise quanto più vengono effettuate in prossimità del fondo scala.

Applicazione degli strumenti

Un altro metodo per misurare tensioni più alte di quelle che lo strumento può sopportare consiste nel creare un partitore di tensioni costituito da 10 resistenze del medesimo valore collegate in serie tra loro.

Il valore di tali resistenze deve essere di almeno 1 Mohm in modo da assorbire dal carico una quantità minima di corrente. Detto partitore viene collegato ai capi della tensione da misurare, e la lettura viene effettuata ai capi di una singola resistenza del partitore.

Il valore indicato dallo strumento corrisponde allora alla decima parte della tensione effettiva, per cui la lettura stessa deve essere poi moltiplicata per 10.

L'amperometro, a differenza del voltmetro, onde evitare di apportare variazioni al circuito deve avere una resistenza propria bassa, anziché alta.

Se un amperometro viene inserito in un circuito avente una resistenza totale piuttosto piccola, esso riduce in maniera apprezzabile la corrente che scorre; per contro, quando la resistenza dello strumento è piccola in confronto alla resistenza in serie del circuito, il suo effetto sulla corrente totale è trascurabile, dal che deriva una misura più precisa.

Nella ricerca dei guasti il tecnico effettua raramente misure di corrente, in quanto esse implicano l'apertura di un circuito; di solito è possibile ottenere indicazioni sufficienti effet-

tuando le letture di tensione e di resistenze onde individuare la causa del guasto. Ove necessario, la corrente può essere calcolata senza interrompere il circuito, misurando la tensione e la resistenza ed usando la formula della legge di Ohm che risolve rispetto alla corrente.

Se si desidera una lettura amperometrica, e non si dispone di uno strumento adatto per effettuarla, generalmente è più semplice calcolare la corrente col metodo della tensione piuttosto che realizzare uno « shunt » del valore appropriato.

A questo scopo, è sufficiente collegare in serie al circuito una piccola resistenza di valore noto, e leggere la caduta di tensione ai suoi capi, dopo di che si calcola la corrente mediante la legge di Ohm. Il valore resistivo inserito nel circuito deve essere piccolo (meno di un decimo del valore della resistenza in serie costituita dal circuito stesso) altrimenti si avranno letture inesatte.

Precauzioni negli impieghi

Dal momento che un misuratore di corrente ha una resistenza bassa, è importante usarlo con particolari precauzioni. Se esso viene erroneamente collegato ai capi di una sorgente di tensione, può riportare gravi danni.

« Non bisogna mai collegare un amperometro e tanto meno un milliamperometro **ai capi** di una batteria o di una resistenza »; è necessario interrompere il circuito e collegare lo strumento **in serie** al carico, in modo che ognuno dei terminali dello strumento sia in contatto con uno dei punti dell'interruzione appositamente effettuata, rispettando naturalmente la polarità nel caso che si tratti di corrente continua, onde evitare una violenta deflessione dell'indice all'indietro e cioè verso sinistra.

« I voltmetri invece, devono essere collegati **in parallelo** » ai circuiti o ai relativi componenti onde misurare la tensione presente ai loro capi.

Quando si usa o un amperometro o un voltmetro è necessario osservare le seguenti regole:

1) Per misurare un valore completamente ignoto, iniziare sempre con la portata più alta, e diminuire gradatamente detta portata fino ad ottenere una lettura quanto più prossima possibile al fondo scala, senza però che questo venga oltrepassato: questo metodo protegge lo strumento da qualsiasi danno che può derivare dal tentativo di misurare un valore più alto di quello che è previsto in una data portata.

2) Osservare la polarità. I puntali di prova normalmente sono colorati; quello negativo generalmente è nero e quello positivo rosso.

Quest'ultima norma ha riferimento e valore soltanto nei casi di lettura in corrente continua.

Misure di potenza: il wattmetro

Quasi tutti i wattmetri impiegati nella pratica sono del così detto tipo elettrodinamico, vale a dire sono costituiti da un dinamometro (vedi pag. 9 e) la cui bobina fissa che — come vedremo — può presentarsi suddivisa in due parti distinte, deve essere inserita in serie sul circuito da misurare e la cui bobina mobile invece deve essere inserita in derivazione sullo stesso circuito.

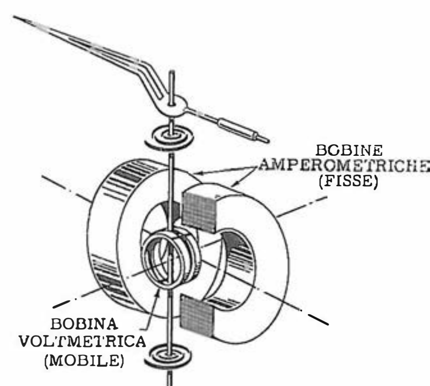
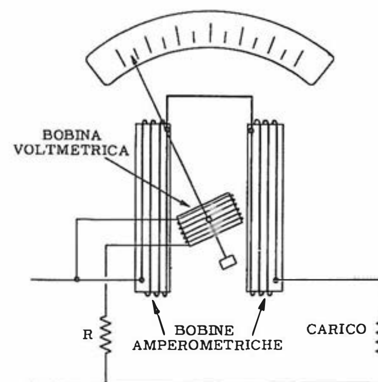


Fig. 38 E - Aspetto della struttura e degli elementi costitutivi di un wattmetro. Si può rilevare come l'avvolgimento amperometrico (che è quello fisso) sia qui suddiviso in due bobine e come la bobina voltmetrica (mobile) sia inserita tra di esse.

La bobina mobile ruota su due perni; due piccole molle a spirale servono da forza antagonista ed a condurre la corrente (vedi **figura 38 E**).

Le due bobine, fissa e mobile, sono perpendicolari fra loro e quindi, passando corrente nelle due, la bobina mobile è sollecitata, come se fosse una calamita, a ruotare per mettere il suo asse magnetico coincidente con quello della bobina fissa. La coppia motrice è in ogni istante proporzionale ai watt dissipati nel circuito.

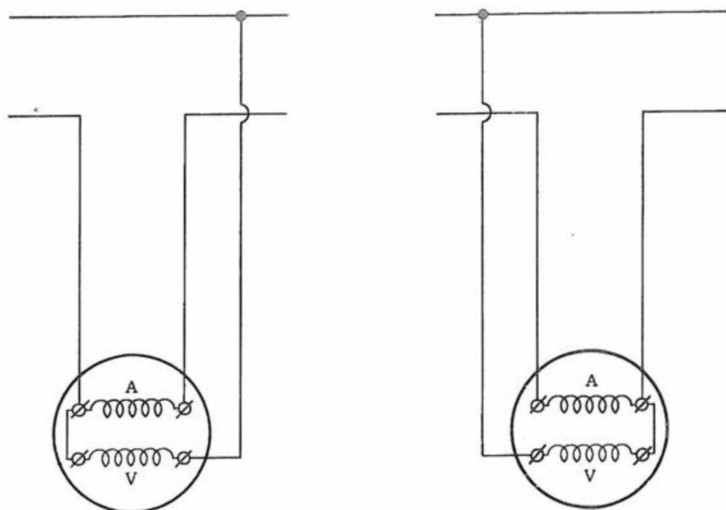
Le due bobine si chiamano: « amperometrica » quella in serie sul circuito da misurare (trattasi della bobina fissa che talvolta può essere costituita da due avvolgimenti distinti) e « voltmetrica » quella in derivazione (mobile) perché è percorsa da una corrente proporzionale alla tensione. Un wattmetro così costruito serve tanto per misure di potenza in c.c. quanto in c.a.



Il wattmetro di cui alla figura precedente è qui visto con riferimento al suo aspetto di circuito elettrico e relativo collegamento interno ed esterno. L'inserzione sulla linea è subordinata ad alcune avvertenze di cui si dice nel testo.

Un wattmetro ha almeno 4 morsetti: due grossi per il circuito amperometrico e due piccoli per quello voltmetrico.

Per la misura della potenza di un circuito a



due fili, il wattmetro si dispone secondo uno dei due modi illustrati in **figura 39 E.** Se nell'effettuare la lettura l'indice dello strumento va indietro, si scambiano gli attacchi al circuito voltmetrico od a quello amperometrico.

Fig. 39 E - Due modi di inserire un wattmetro per misure di potenza su un circuito elettrico a due fili. Il senso di inserzione delle due bobine (amperometrica e voltmetrica) ha importanza determinante.

Quando nel corso di collaudi e controlli si vuol applicare un determinato wattmetro, costruito cioè per una determinata intensità e tensione, per misure su circuiti con intensità e tensioni superiori alla portata nominale dello strumento, si deve procedere nei due seguenti modi:

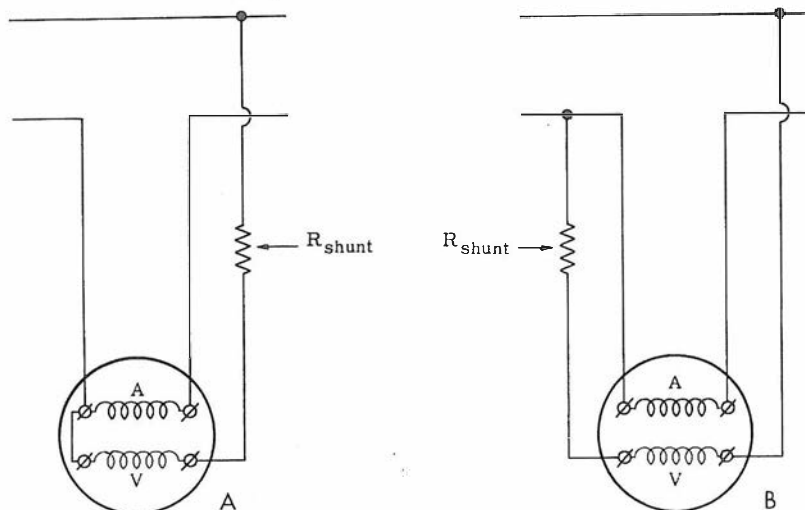
1) Si applicano al wattmetro delle resistenze esterne sul circuito amperometrico (in quest'ultimo caso solo per corrente continua).

2) Se si tratta di corrente alternata, si riduce, come vedremo in seguito, la tensione troppo alta e la maggiore intensità a quelle nominali dello strumento, mediante dei trasformatori riduttori di tensione e di intensità. Esaminiamo alcuni casi:

Supponiamo di dover misurare col wattmetro da 200 volt un circuito a 500 volt.

Si inserisce allora in serie sul circuito voltmetrico una resistenza addizionale di filo sottile, per un valore di ohm pari a tante volte la resistenza interna del circuito voltmetrico quante volte 200 sta in 500, per esempio 3 volte.

Fig. 40 E - Inserzione corretta della resistenza addizionale in A della figura. Inserzione errata della medesima in B della figura.



Se **R** è la resistenza ausiliaria e **r** la resistenza interna del circuito voltmetrico, le letture del wattmetro (ossia la costante) devono essere moltiplicate per:

$$\frac{R + r}{r}$$

Le resistenze addizionali devono essere non induttive; esse vengono solitamente fornite dai costruttori insieme ai wattmetri.

La resistenza addizionale al circuito voltmetrico del wattmetro si deve inserire sul tratto di filo che congiunge un morsetto al polo opposto a quello su cui è inserito il filo amperometrico (vedi **figura 40 E**).

Il motivo di tale precauzione è che internamente all'apparecchio i due circuiti, amperometrico e voltmetrico sono molto vicini fra loro e perciò fra essi non vi deve essere una forte differenza di potenziale onde evitare il pericolo di scariche.

Ora, con il sistema illustrato in sezione « A » di figura 40 E, la condizione di cui sopra è soddisfatta; con il sistema illustrato nella sezione « B » della medesima figura invece, tra la spirale voltmetrica e quella amperometrica verrebbe a formarsi quasi la stessa differenza di potenziale che vi è fra i due fili del circuito esterno.

Non è altrettanto facile aumentare la portata amperometrica di un wattmetro, mettendo uno shunt ai morsetti amperometrici come abbiamo visto potersi fare con gli amperometri. L'applicazione in linea di massima è possibile per misure su circuiti a corrente continua, mentre con la corrente alternata si avrebbero errori intollerabili per effetto del diverso comportamento induttivo della spira amperometrica e dello shunt.

Per ovviare all'inconveniente si usa costruire i wattmetri, specialmente quelli per laboratorio e portatili, suddividendo la bobina fissa amperometrica in due parti facenti capo a quattro morsetti distinti. Per le portate più piccole si mettono le due bobine in serie; per le portate doppie si mettono le due bobine in parallelo. La portata quindi può essere variata nel rapporto di 1 : 2.

I wattmetri più pregiati da laboratorio hanno il circuito voltmetrico interno che presenta una resistenza compresa tra 1000 e 3000 ohm, mentre la portata della bobina amperometrica può essere di 0,03 ampère.

I wattmetri sono facilmente perturbati dai campi magnetici dispersi dalle macchine elettriche o da quelli dei conduttori a forte amperaggio, vicini. Anche il campo magnetico terrestre può arrecare perturbazioni sensibili all'esattezza delle misure. A questo inconveniente si provvede facendo due letture, con lo strumento collocato in una direzione e successivamente in quella opposta, oppure invertendo ogni volta il senso delle correnti nelle due bobine.

Costruzione di un analizzatore o "tester"

Il testo di questa lezione svolto sin qui ci ha illustrato, abbastanza dettagliatamente, quali siano e come funzionino i più comuni ed usuali strumenti atti alle operazioni di misura.

Lo strumento, allorché è corredato di accessori, circuiti propri e componenti complementari che gli consentono di essere impiegato in più casi e per letture diverse, assai spesso viene già definito « apparecchio di misura ».

Naturalmente, se si considerano le necessità di controllo (saltuario o permanente) che si presentano in elettronica, si comprende che gli apparecchi di misura sono molteplici, di varia complessità, precisione e classe.

La necessità di disporre di uno o più di essi dipende dal tipo di attività che il tecnico intende svolgere. In qualsiasi caso però, sia che si voglia attrezzare il proprio laboratorio in maniera doviziosa, sia che lo si voglia invece corredare solo modestamente, vi è un classico, ben noto apparecchio di base che è **indispensabile**: esso è il **« tester »** definito anche **analizzatore** o **multimetro.**

Queste sue due definizioni permettono di comprendere subito che esso è il mezzo col quale si può eseguire un'analisi di controllo nei circuiti mediante rilevamenti di lettura e che tale lettura può essere quella di differenti entità elettriche (tensione, corrente, resistenza, ecc.). Multimetro vuol dire anche che le letture citate possono essere eseguite con una scelta di gamme di sensibilità, in altre parole con più portate (scale) a propria disposizione.

Riteniamo superfluo insistere oltre nell'evidenziare l'indispensabilità del « tester ». Senza avere uno strumento del genere a propria disposizione non è assolutamente possibile affrontare lavori, anche modesti, relativi alla ricerca di guasti, controllo di componenti, di montaggi sperimentali, ecc.

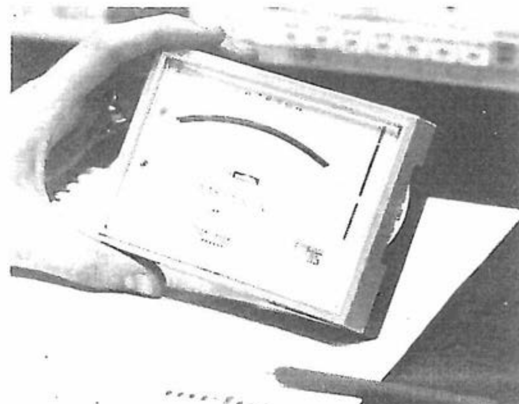
Queste ultime considerazioni sono quelle che ci hanno indotti alla presentazione che segue perché così il lettore che vuole in realtà proseguire nella parte pratica potrà procedere con tranquillità di esito soddisfacente in ogni caso. Tutto ciò, anche se alcune funzioni di cui il « tester » è capace (letture in alternata, misura di resistenze e di capacità) non sono state ancora oggetto delle dovute lezioni teoriche.

Criterio di scelta

Ci siamo già espressi sul sistema da noi scelto per consentire la formazione di una attrezzatura con sistema economico ed utile nello stesso tempo. Ci riferiamo alle scatole di montaggio. Per questo strumento quindi è ancora un'apparecchiatura Amtron quella da noi suggerita perché dalle prove da noi stessi eseguite è risultato che l'esito è garantito e la procedura agevolata dalle numerose istruzioni supplementari di montaggio date a corredo. Il tipo è denominato UK-434.

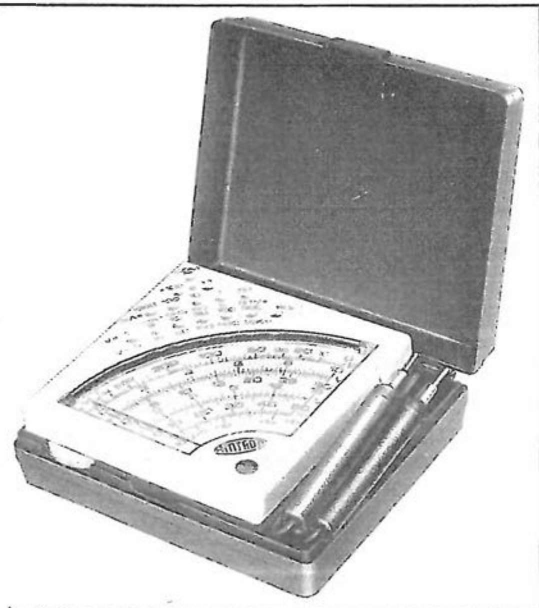
Tra le prerogative citiamo l'impiego di moduli, la facilità di lettura dovuta ad un ampio quadrante, la leggerezza (è un apparecchio tascabile) e le piccole dimensioni, il breve tempo richiesto per l'assemblaggio, le numerose portate (38) ed una sensibilità di 10 000 per volt.





Se è pur vero che, interessandosi di elettronica a solo scopo dilettantistico o ricreativo non è necessario dotarsi di attrezzature, strumentazione e apparecchiature complesse è altrettanto vero che di un « tester » non si può assolutamente fare a meno. I suoi impieghi sono tanti e tali che, non disponendone, anche la più modesta attività ne risulterebbe compromessa. Se ne trovano in commercio molteplici tipi, con varie sensibilità forme e prestazioni.





Se il proprio « tester » viene assemblato da se stessi si realizza il vantaggio di una conoscenza esatta dello schema dei componenti e della loro funzione, oltre ad un risparmio economico. Una costruzione del genere è possibile però con successo, solo se lo strumento è progettato (vedi, ad esempio, impiego di moduli) espressamente per una tale soluzione.

L'ambizione dei principianti e dei tecnici di autocostruire un misuratore di una certa classe, rappresenta sempre un problema abbastanza delicato, in quanto è difficoltoso il reperimento dei componenti che abbiano la necessaria precisione e il montaggio non riuscirà mai così compatto e funzionale come si desidera.

Con questa scatola la possibilità di montare personalmente un « tester » universale di precisione e sensibilità è praticamente alla portata di tutti, in quanto la maggior parte degli elementi costruttivi del circuito è contenuta in due circuiti ibridi a film spesso. Tali circuiti, lo abbiamo visto già, sono il frutto di una tecnica molto progredita che sta a mezza strada tra i normali circuiti stampati ed i circuiti integrati. I circuiti ibridi qui impiegati sono progettati e costruiti appositamente da fabbriche altamente specializzate, secondo lo schema, i valori e le precisioni richieste. La stabilità con le variazioni di temperatura è ottima e le differenze tra i vari elementi di una stessa serie sono trascurabili.

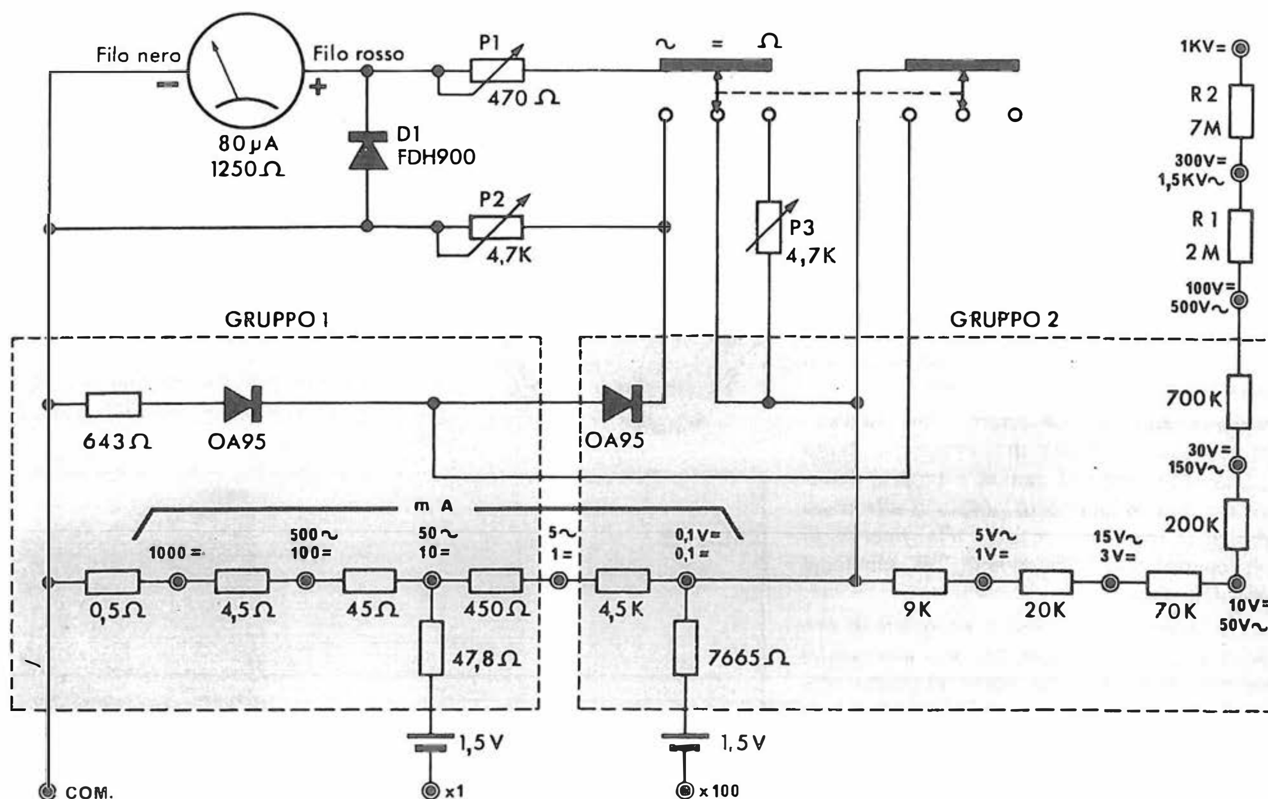
molto bassi e che il tempo da dedicare al montaggio è molto breve. Il risultato economico non influenza la bontà del risultato raggiunto, che è senz'altro migliore di quello ottenuto con la tecnica corrente ad elementi discreti.

In caso di guasti all'apparecchio la riparazione è facile in quanto basta sostituire in blocco il circuito ibrido danneggiato per ripristinare la perfetta funzionalità dell'apparecchio. Usando le solite precauzioni per l'uso dei normali tester, la probabilità di guasti è però quasi nulla.

L'ampiezza della scala di lettura è ottenuta con la minima dimensione esterna, usando la diagonale del quadrato anziché uno dei lati come di solito. Un grande sviluppo della scala garantisce letture precise su un gran numero di divisioni.

Lo strumento permette l'esecuzione di un gran numero di misure diverse (38 portate effettive) inserendo i cavetti di misura nelle apposite boccole ed azionando un commutatore a tre posizioni con i contatti argentati direttamente ricavati dal circuito stampato principale.

Lo schema elettrico completo mette in evidenza come con il commutatore doppio a tre posizioni si inseriscano secondo le necessità i settori interessati. Le tre posizioni sono quelle di lettura in alternata, in continua (caso dello schema) e di misura resistiva. Le diverse portate sono conseguenti all'innesto di uno spinotto nella relativa boccola; l'altro spinotto rimane costantemente nella boccola « comune ».



Il circuito ibrido permette un montaggio robusto, rapido e privo di errori.

Il rivestimento in materiale epossidico garantisce una grande stabilità e resistenza meccanica. Inoltre il montaggio è molto economico per il fatto che il circuito è prodotto a prezzi

Le zone circoscritte (grigio) sono i due moduli già pronti con componenti tarati, già connessi tra loro. Alle pagine 29, 30 e 31 lo schema è riportato per la sola parte interessata ad ogni singola categoria di lettura.

Le possibilità di uso dello strumento sono molto varie, tanto da poter confermare quella sua caratteristica di indispensabilità già detta, sia nel campo delle piccole riparazioni elettriche domestiche che, nel campo della ricerca di guasti negli apparecchi radio e televisivi.

Primo esame dello schema

Come si constata dallo schema di **figura 41 E**, lo schema del « tester » incorpora alcune delle tecniche viste nelle pagine precedenti, per aumentare le prestazioni con strumenti di questo tipo, con la differenza che la maggior parte dei componenti è raggruppata in due circuiti monolitici che contengono già connessi gli elementi necessari, come resistenze e diodi.

Gli unici elementi discreti sono i due potenziometri di taratura P1 e P2, il potenziometro di regolazione del fondo scala nelle misure delle resistenze P3 e i due resistori R1 ed R2.

Lo strumento indicatore è del tipo a bobina mobile, di costruzione compatta, grazie all'adozione del magnete ceramico di modernissima concezione.

La misura delle resistenze viene effettuata con l'ausilio di due pile alcaline di grande stabilità di tensione e di minime dimensioni (*).

La possibilità di misure di corrente e tensione alternata è garantita dall'uso di due diodi OA 95 già incorporati nei circuiti ibridi (*).

Per il resto vale quanto già noto, ossia che le misure di tensione vengono suddivise nelle varie scale mediante resistenze in serie allo strumento in ragione di 10.000 ohm per volt fondo scala.

Le misure di corrente si ottengono facendo passare una quota della corrente attraverso resistenze di « shunt » di basso valore, secondo i sistemi di cui si è ampiamente detto.

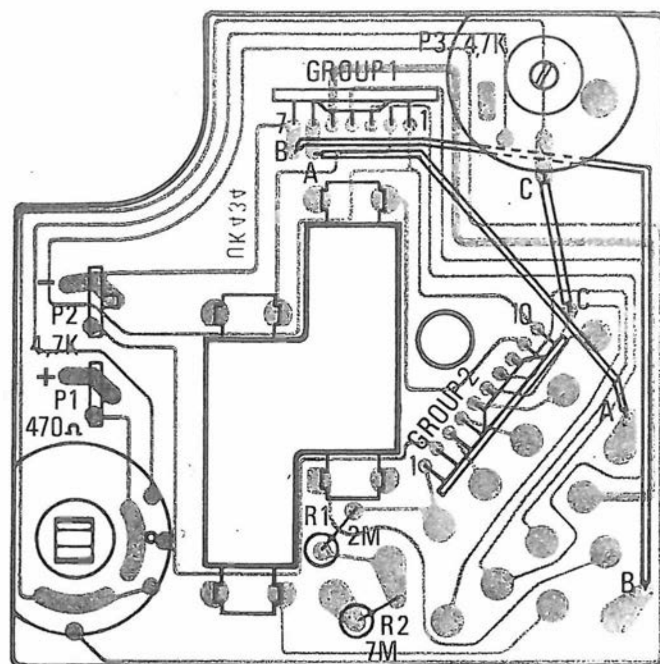
Siccome lo strumento è posto in parallelo alle resistenze di « shunt », l'indicazione sarà proporzionale alla corrente totale pur essendo la bobina dello strumento percorsa da una corrente non superiore a quella ammessa dalle sue caratteristiche.

Gli elementi contrassegnati sullo schema « gruppo 1 » e « gruppo 2 » sono i due circuiti ibridi, che contengono i componenti disegnati entro i rettangoli tratteggiati.

I circuiti ibridi si presentano come blocchi compatti che hanno su di un lato un certo numero di fili di uscita. Basta montarli sul circuito stampato principale nel loro giusto orientamento, senza tenere conto nella costruzione degli elementi che li compongono.

È evidente come questa costruzione « modulare » riduca grandemente la possibilità di errori, faciliti il montaggio ed aumenti la robustezza dell'insieme.

Un contenitore in materiale plastico speciale



Questa è, in grandezza naturale, la basetta a circuito stampato. Reca, già innestato e funzionante, il commutatore doppio nonché tutte le boccole (quindici) per i puntali. In grigio (per trasparenza) sono riprodotte le piste di rame. Nell'angolo a destra, in alto, va inserito il potenziometro che serve all'azzeramento preventivo per le misure di resistenza. Il tutto è molto evidente nell'illustrazione fotografica di pagina 29 e.

antiurto permette un montaggio meccanico preciso degli elementi, grazie anche all'adozione di un circuito stampato che evita collegamenti a filo, e garantisce all'insieme una grande robustezza ed un peso minimo.

La costruzione

Per facilitare il compito di chi si accinge ad eseguire il montaggio di questo circuito, pubblichiamo la **figura 42 E** sulla quale appare la serigrafia del circuito stampato. Su di questo è sovrastampata l'esatta disposizione dei componenti.

Questa sovrastampa è ripetuta in serigrafia anche sul circuito stampato, per facilitare al costruttore il ritrovamento dei vari punti di connessione dei componenti.

Ecco alcuni consigli pratici che è utile tenere sempre presenti.

Il circuito stampato presenta una faccia sulla quale appaiono le piste di rame ed una faccia sulla quale vanno disposti i componenti.

I componenti sono disposti perpendicolari alla superficie del circuito stampato per consentire un risparmio di spazio in superficie. Nel caso dei resistori montati in verticale, rispettare le posizioni che appaiono in figura.

Verificare accuratamente sulla figura 42 E la posizione di ciascun componente e sistemarlo infilandone i reofori nei fori. Se si ha a che fare con componenti polarizzati, bisogna rispettarne l'orientamento, e per questo sono date le opportune istruzioni nelle fasi di montaggio che riguardano componenti di tale tipo.

Eseguire quindi la saldatura usando un saldatore di potenza non eccessiva, agendo con decisione e rapidità per non surriscaldare i com-

(*) Quanto è stato sin qui esposto sugli strumenti, sul loro inserimento in circuito e sulle possibilità, nonché sui sistemi per estendere le portate di lettura ci permette già di osservare lo schema generale del « tester » con buone cognizioni di causa. Per agevolare questa analisi inoltre, è rappresentata — poco più avanti — la sola parte dello schema che è interessata ad ogni diverso tipo di misura. Resta così anticipato ciò che è inerente alle misure di resistenza (ohmetro) e di corrente alternata sulle quali, nelle lezioni prossime si avrà il dovuto sviluppo, analogamente a quanto è stato fatto per le misure e le portate in corrente continua.

ponenti e provocare così variazioni irreversibili nelle loro caratteristiche.

Non esagerare con la quantità di stagno, che deve essere appena sufficiente per assicurare un buon contatto. Se la saldatura non dovesse apparire subito perfetta interrompere il lavoro, lasciare raffreddare il componente, e quindi ripetere il tentativo.

Per saldatura imperfetta si intende sia una saldatura « fredda » sia una saldatura che non garantisce il perfetto contatto tra le parti da unire. Una saldatura difettosa appare opaca oppure i suoi margini non sono perfettamente raccordati al metallo dei contatti, come potrebbe fare una goccia d'acqua su una supercie che non si bagna.

Una particolare precauzione va usata nella saldatura dei circuiti ibridi sia nei riguardi della trasmissione del calore che nell'evitare cortocircuiti tra le piazzole di connessione, molto vicine tra loro.

Una volta eseguita la saldatura, bisogna tagliare con un tronchesino i terminali sovrabbondanti sporgenti dal lato rame, fino a lasciarne il livello a 2-3 mm al di sopra delle superfici delle piste. Durante la saldatura bisogna porre la massima attenzione a non formare ponti di stagno tra piste adiacenti.

Non usare pasta salda o disossidanti acidi per facilitare la saldatura.

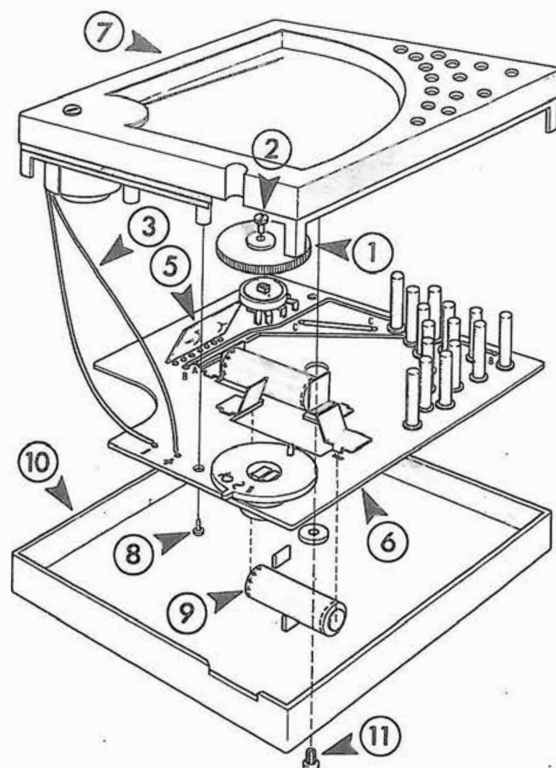
Il disossidante contenuto nel filo di stagno è più che sufficiente per ottenere saldature perfette. Altri tipi di disossidanti potrebbero diminuire l'isolamento tra le piste oppure corrodere col tempo le parti metalliche, in quanto quasi sempre presentano reazione acida anche a freddo.

In caso di necessità, l'unico disossidante ammesso in elettronica è la pece greca o colofonia, che diventa acida solo se riscaldata ad elevata temperatura.

Se si presentasse il raro caso di un contatto talmente ossidato da non permettere la saldatura, è meglio ravvivarlo grattandolo leggermente con la lama di un temperino o con carta abrasiva.

Si rammenta che l'uso del ciclo di montaggio come suggerito è una garanzia della perfetta riuscita del montaggio finito. Nell'opuscolo dato a corredo, ciascun passo di montaggio reca a fianco un quadratino sul quale si possono successivamente spuntare i vari passaggi.

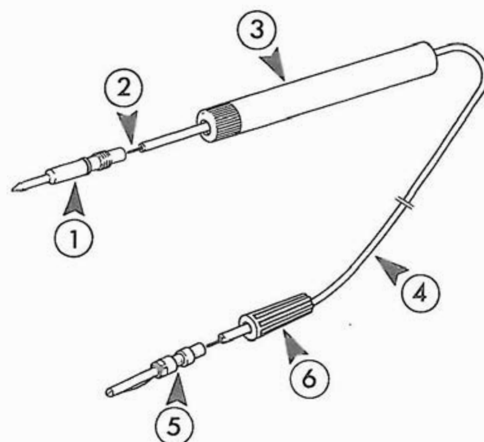
Dopo ogni fase di montaggio conviene eseguire un rigoroso controllo. La scoperta di un errore eventualmente sfuggito può risparmiare ore di lavoro per la ricerca del guasto in caso di mancato funzionamento ed eventualmente la necessità di scoprire e sostituire dei componenti danneggiati.



Il disegno indica la reciproca posizione delle diverse parti. Riprodotto in grandi dimensioni nei fogli che accompagnano il « kit » con tutte le indicazioni di montaggio rende evidente ciò occorre fare dopo di aver montato i pochi componenti sulla basetta.

PRESTAZIONI

V c.c.	Portate	0,1 - 1 - 3 - 10 - 30 - 10 - 10 - 100
	Costanti	0,01 - 0,1 - 0,1 - 1 - 1 - 100 - 300 - 1000 V
V c.a.	Portate	5 - 15 - 50 - 150 - 500 - 1500 V
	Costanti	0,1 - 1 - 1 - 10 - 10 - 100
mA c.c.	Portate	0,1 - 1 - 10 - 100 - 1000 mA
	Costanti	0,01 - 0,1 - 1 - 10 - 100
mA c.a.	Portate	5 - 50 - 500 mA
	Costanti	0,1 - 1 - 10
Output in dB	Portate	—10 + 15 0 + 25 + 10 + 35 + 20 + 45 + 30 + 55 + 40 + 65
	Costanti	0 + 10 + 20 + 30 + 40 + 50
Output VBF	Portate	5 - 15 - 50 - 150 - 500 - 1500 V
	Costanti	0,1 - 1 - 10 - 10 - 10 - 100
Ohmmetro	Portate	10.000 ohm 1.000.000 ohm
	Costanti	x 1 x 100
Cap. Balistico	Portate	100 microF 10.000 microF
	Costanti	x 1 x 100



I due puntali sono, come di norma, l'uno nero e l'altro rosso. Al puntale vero e proprio (1) viene saldato il conduttore (2). La cannuccia (3) verrà poi avvitata sull'« 1 ». Dall'altro lato, la trecciola (4) sarà saldata alla spina (5) e su quest'ultima sarà innestata a pressione la boccola « 6 ».

La messa a punto

Per la taratura dello strumento bisogna agire sui due « trimmer » P1 e P2. In particolare il « trimmer » P1 serve ad adattare la resistenza interna dello strumento a quella delle resistenze voltmetriche in corrente continua, ed il « trimmer » P2 a quella delle resistenze voltmetriche in corrente alternata.

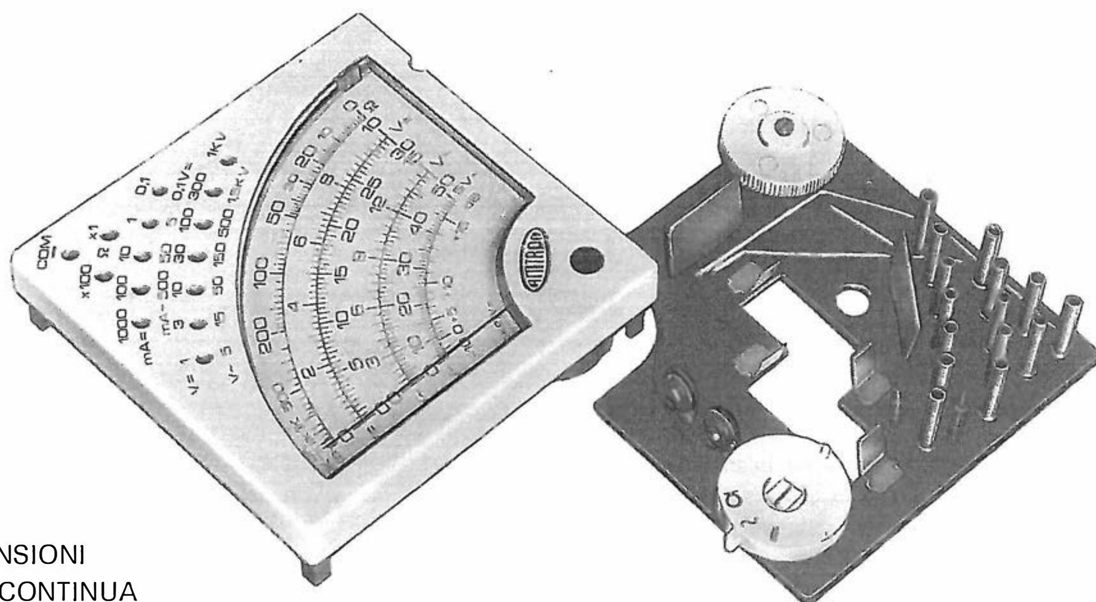
Tenere presente che le regolazioni delle due resistenze interferiscono tra di loro, quindi l'intera operazione di taratura dovrà essere ripetuta più volte fino a non ottenere variazioni nelle indicazioni dello strumento.

Per la taratura è necessaria una sorgente di tensione continua di alta precisione. Allo scopo si può usare una pila al mercurio nuova che fornisce una tensione di 1,35 V.

Procedimento di taratura, dopo aver azzerato meccanicamente l'indice mediante la vite posta sotto al perno della lancetta:

1) Disporre il commutatore in posizione =.
2) Inserire lo spinotto del puntale nero nella boccola COM —.
3) Inserire lo spinotto del puntale rosso nella boccola 3 V c.c.
4) Disporre tra i puntali, con la esatta polarità, la pila al mercurio.
5) Regolare P1 finché la lettura sul quadrante sarà di 1,35 V. Attenzione durante la lettura di mantenere l'occhio esattamente al di sopra della lancetta per evitare errori di parallasse.
6) Ruotare il commutatore in posizione ∾ .
7) Inserire lo spinotto del puntale rosso nella boccola 5 V corrente alternata.
8) Disporre tra i puntali una tensione alternata di valore noto oppure confrontata con un altro strumento, compresa tra 2 e 4 volt di corrente alternata.

   Regolare P2 sino ad ottenere il valore di lettura esatto.
9) Ripetere le prove fino a stabilizzazione delle indicazioni.



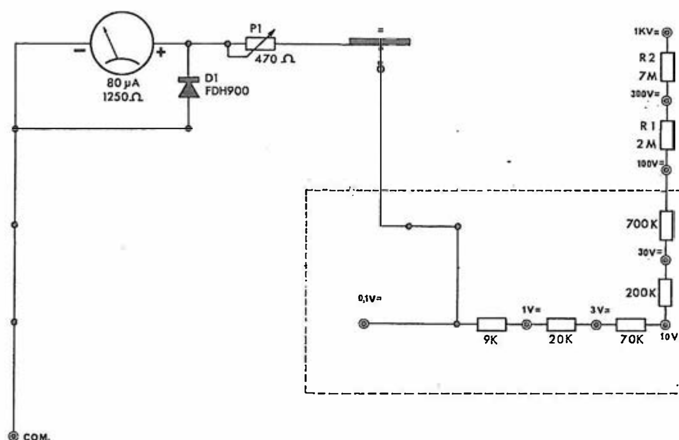
MISURA DI TENSIONI IN CORRENTE CONTINUA

Sistemare il commutatore posto sulla parte destra del « tester » in modo che nella finestrella appaia il segno =.

Inserire la spina del puntale nero nella boccola contrassegnata COM — e quella del puntale rosso nella boccola corrispondente al campo di tensioni scelto. Leggere il valore e moltiplicare per la costante indicata nella tabellina.

Per questa e per le altre misure che seguono, se si dubita circa il valore della tensione o della corrente che devono essere misurate, conviene partire dalla portata più alta ed aumentare via via la sensibilità, per evitare danneggiamenti allo strumento.

Esempio: lettura 6,2 sulla scala 1 V. Valore della tensione 6,2 × 0,1 = 0,62 V.

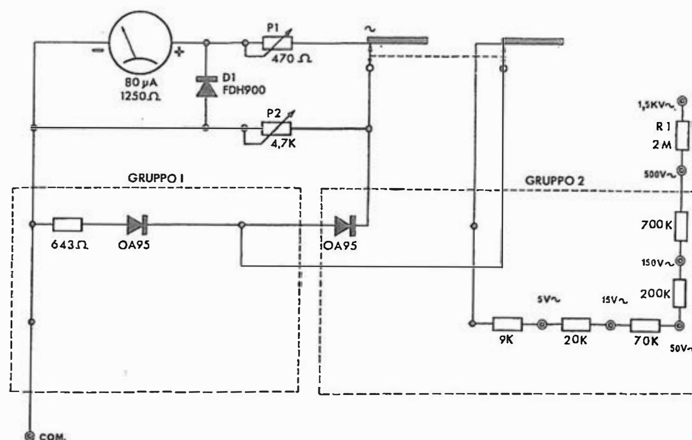


MISURA DI TENSIONI IN CORRENTE ALTERNATA

Ruotare il commutatore nella posizione ~. Inserire le spine dei puntali rispettivamente nelle boccole COM — ed in quella V ~ corrispondente alla portata desiderata. Attenzione che se anche le boccole sono le stesse per la tensione continua e per quella alternata, non sono le stesse le portate di fondo scala.

Leggere il valore sulla scala rossa V ~ e moltiplicarlo per la relativa costante.

Per la portata 5 V leggere sulla scala numerata da 0 a 50 e contrassegnata 5 V ~.



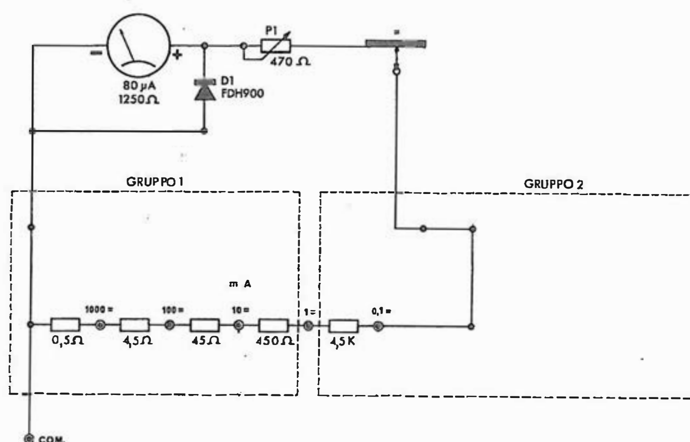
MISURA DI INTENSITÀ IN CORRENTE CONTINUA

Ruotare il commutatore sulla posizione =; Inserire la spina del puntale nero nella boccola COM — e quella del puntale rosso nella boccola mA = corrispondente alla portata desiderata.

Leggere sulla scala nera V = e moltiplicare per la costante corrispondente della tabella 1.

Esempio: portata 1 mA =, lettura 4,2, costante 0,1. Valore effettivo 4,2 × 0,1 = 0,42 mA.

Nelle misure di intensità lo strumento deve essere sempre disposto, come abbiamo già detto prima, in serie al carico del quale si vuole misurare l'assorbimento.



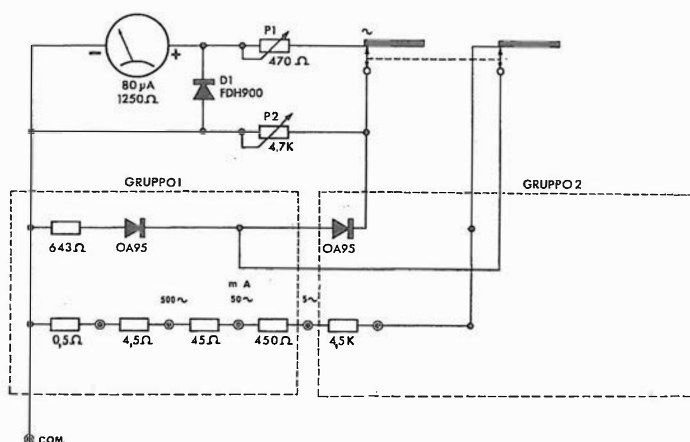
MISURA DI INTENSITÀ IN CORRENTE ALTERNATA

Ruotare il commutatore nella posizione ~. Inserire le spine dei puntali rispettivamente nella boccola COM — ed in quella della scala mA ~ corrispondente alla portata desiderata.

Leggere il valore sulla scala rossa V ~ e moltiplicarlo per la relativa costante. Si fa presente che la portata massima di questa scala è di 500 mA e che la potenza dell'utilizzatore non deve superare quella che alla tensione cui è sottoposto, provoca questo assorbimento secondo la formula:

$$W = C \cdot A$$

Per esempio, alla tensione di 220 V c.a. non si potranno misurare assorbimenti da utenti di potenza superiore ai 110 W.



MISURE D'USCITA

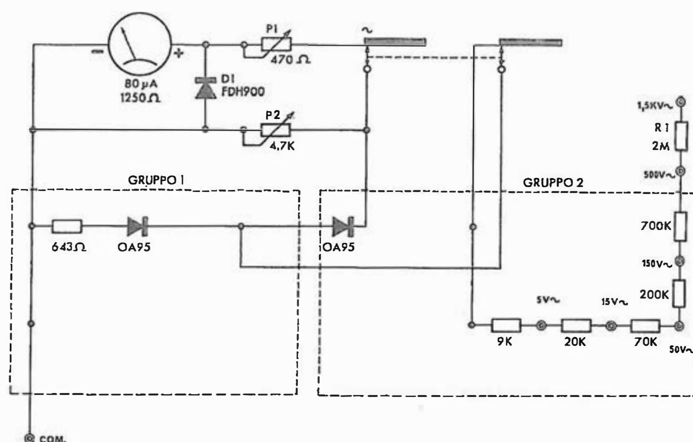
La scala in dB è stata tracciata secondo lo standard telefonico internazionale che fa corrispondere il punto di 0 dB alla dissipazione di 1 mW su una resistenza di 600 ohm, il che corrisponde ad una tensione di 0,775 V.

Predisporre l'analizzatore come per le misure delle tensioni alternate.

Inserire in serie ad uno dei puntali un condensatore di capacità compresa tra 0,047 microF, e 0,1 microF, del tipo con isolamento in polistirolo o poliestere.

Se si tratta di misure di volt BF vale quanto detto per le tensioni in corrente alternata. Se si tratta di misure di guadagno, leggere sulla scala tarata in dB per la portata 5 V ~ e sommare algebricamente alla lettura +10, +20, +30, +40, +50, per le altre portate.

Esempio: Lettura —8, scala 15 V ~ valore effettivo +10 —8 = +2.



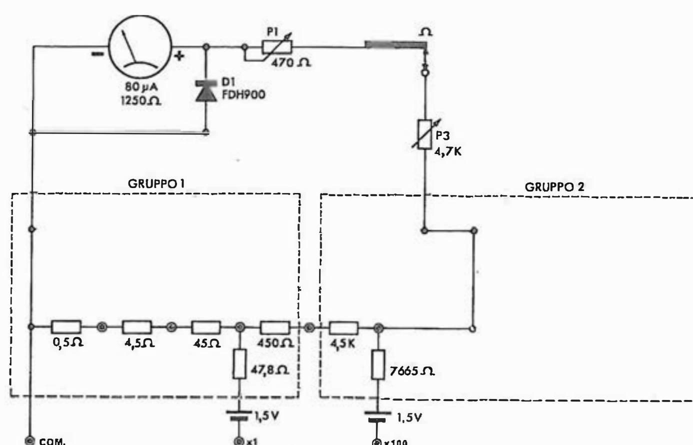
MISURA DI RESISTENZA

Ruotare il commutatore nella posizione ohm. Inserire la spina del puntale nero nella boccola COM — e quella del puntale rosso in una delle due boccole contrassegnate ohm × 100, ×1.

Cortocircuitare i puntali tra di loro e portare l'indice dello strumento a fondo scala (0 ohm) agendo sulla manopola del potenziometro P3. Se non si riesce ad arrivare a fondo scala significa che le pile sono esaurite e bisogna sostituirle.

Effettuare la lettura sulla scala ohm e moltiplicare per la relativa costante.

Tenere presente che le letture con la migliore precisione si ottengono al centro della scala.



MISURA DI CAPACITÀ COL METODO BALISTICO

Il metodo balistico per effettuare una misura non sfrutta una indicazione fissa ma legge una deviazione massima non permanente.

L'abilità dell'operatore consiste nell'individuare bene la massima escursione dell'indice al momento dell'inversione della corsa. Infatti un condensatore scarico al momento dell'applicazione di una tensione continua, si carica con legge esponenziale, lasciando passare una corrente che è massima all'inizio e poi diminuisce con rapidità sempre minore.

L'analizzatore deve essere predisposto come per le misure di resistenza. Sono previste due portate corrispondenti alle due portate ohmmetriche:

ohm × 1 = microF × 100;
ohm × 100 = microF × 1,
Vedere tabella qui a lato.

Collegare il condensatore ai puntali dello strumento dopo averne messo in cortocircuito i terminali per scaricarlo completamente. L'indice devierà per qualche istante per poi riportarsi a zero.

Leggere il valore della massima deviazione dell'indice sulla scala numerata da 0 a 10 V =.

Risalire al valore della capacità usando la scala comparativa pubblicata in tabella 2. È opportuno ripetere più volte la misura, scaricando ogni volta il condensatore e fare quindi una media dei valori ottenuti.

Se l'indice dello strumento non si muove il condensatore è interrotto, se invece l'indice si ferma a fondo scala il condensatore è in cortocircuito.

Con questo metodo si possono misurare anche le capacità dei condensatori elettrolitici, avendo cura di applicare ai loro terminali la corretta polarità.

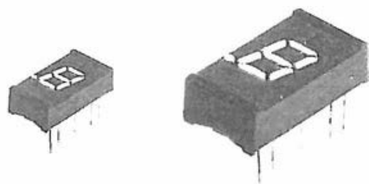
SCALA COMPARATIVA PER MISURE DI CAPACITA' CON CAPACIMETRO BALISTICO

	0		2	4	6	8	10	µF
(Ω x 100)	0,1	1	5	10	25	50	100	
(Ω x 1)	10	100	500	1000	2500	5000	10.000	µF

Strumenti con indicazione numerica o digitale

Se l'indicazione del valore di lettura si ha osservando l'indice dello strumento nei riferimenti di una scala sottostante — così come abbiamo visto sin qui — il sistema è definibile col termine « analogico ». Da qualche anno però vengono costruiti dispositivi di indicazione che presentano direttamente la cifra, sotto forma di numero (quasi sempre luminoso) ed essi sono noti come strumenti « digitali » o numerici.

Questo nuovo tipo di visualizzazione si diffonde ora assai rapidamente per diversi suoi pregi;



Per « visualizzare » le singole cifre si impiegano tracciati formati da diodi in grado di illuminarsi (LED); solitamente la cifra si forma a mezzo di 7 x 5 punti singolarmente comandati.

esso è tuttavia di costo enormemente superiore a quello anologico e. non è del tutto privo di difetti.

I vantaggi sono: anzitutto, una lettura più immediata, non richiedendosi più un certo impegno di traduzione tra posizione, scala, punto di osservazione. Il dato che appare, inoltre, essendo elettricamente definito nei suoi valori può essere come tale utilizzato per una registrazione magnetica (conservazione e reimpiego) o per

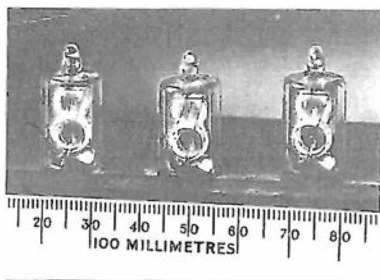


Voltmetro con ampia indicazione digitale a segmenti LED. Come si vede, è facile disporre di tre cifre decimali ottenendosi di conseguenza alta precisione di lettura.

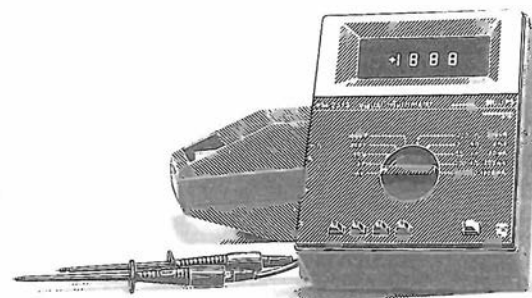
una registrazione meccanica (stampa) o ottica (stampa fotografica o elettrostatica).

La precisione di lettura è molto più spinta; si potrebbe dire che è illimitata perché essa dipende dal numero di indicatori di cifra che si intende impiegare. È facile intuire come ci siano limiti invece nella precisione di lettura di un indice contrapposto ad una scala (circa 0,1 % nel migliore dei casi).

La rapidità dell'azione è notevolmente superiore a quella di un indice (che ha inerzia e



Tra i primi indicatori impiegati per visualizzare le cifre si sono avuti questi tubi, detti « Nixie ». Necessitano di una tensione anodica di 200 V; sono a catodo freddo.



Questo è un multimetro digitale. Adotta un circuito integrato che svolge parte delle funzioni analogiche, la necessaria conversione Analogico / Digitale ed una valutazione di quest'ultimo segnale. Il visualizzatore è a LED a 3 ½ cifre a 7 segmenti.

spostamenti balistici): le variazioni possono seguire un ritmo anche superiore a quello che l'occhio può percepire.

Si hanno, infine, impieghi che sull'indicazione già espresse in numeri basano la loro funzione; si pensi, ad esempio, ad un tabellone in Borsa, o ad un quadro orario di partenze che assai male potrebbero essere concepiti con indicatori ad indice.

I lati negativi sono costituiti da una maggiore difficoltà ad osservare variazioni continue di grandezze che sono rese di assai più facile percezione da deviazioni di un indice che non dal mutamento di numeri. Sappiamo tutti poi che



Altro multimetro digitale. Adotta tubi « Nixie »; ha 25 valori di fondo-scala, un'impedenza d'entrata di 10 megaohm ed una sensibilità di 0,1 volt. È alimentato dalla rete.

la lettura di un orologio è più agevole (o per lo meno, più immediata) se esso è del tipo a lancette che non se è ad indicazione digitale; così dicasi per la posizione, ad esempio, di una leva di comando, ecc. Ciò deriva da una intima reazione dell'uomo, abituato da sempre a comparare sensorialmente variazioni di grandezze legate a fenomeni analogici.

Vi sono, inoltre, altri aspetti negativi quali una certa fugacità dell'informazione ed una fatica di lettura che può derivare, quest'ultima, dal mezzo prescelto per far apparire le cifre (ad esempio, tubo a raggi catodici).



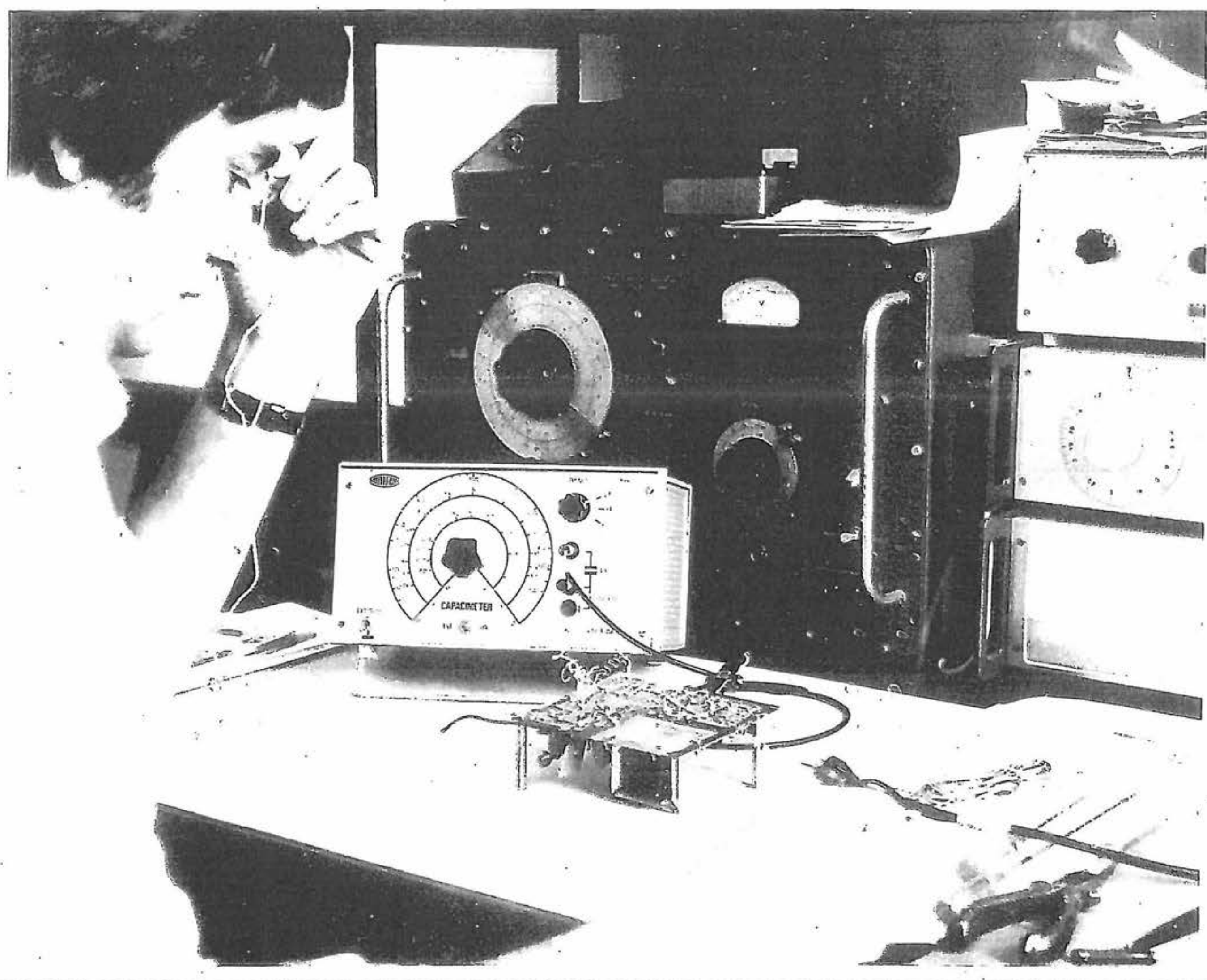
Multimetro digitale recente: visualizzazione con diodi LED. Misure da 1mV a 999 volt e da 1 ohm a 15 megaohm. Taratura automatica dello zero e protezione di tutte le portate. Conversione Analogica Digitale a doppio anello.

L'ELETTRONICA

IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

Altre realizzazioni

6



RADIO - TRANSISTORI - CIRCUITI INTEGRATI - Hi-Fi - ANTENNE - TRASMISSIONE - APPLICAZIONI VARIE

Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - —70% - Lire 750

Le misure di resistenza

L'ohmetro è uno strumento che indica il valore di resistenza di un singolo elemento di circuito — o addirittura di un intero circuito complesso — su una scala preventivamente tarata in ohm.

L'ohmetro viene spesso utilizzato anche per un impiego più corrente e richiedente minore precisione: la semplice verifica della continuità di un circuito oppure un accertamento del cosiddetto « corto circuito ».

Opportunamente modificato può servire infine anche per effettuare misure di capacità; nel nostro « tester » questa possibilità, lo abbiamo visto, viene sfruttata.

Trattasi dunque di uno strumento di misura dai molteplici impieghi, pressoché indispensabile per procedere con un minimo di sicurezza all'esame dei circuiti, spesso complessi, che più avanti studieremo.

Esso è perciò, come si può intuire, uno degli strumenti basilari dell'elettronica, evidentemente della medesima importanza del voltmetro e dell'amperometro ai quali — come oramai sappiamo — spesso si unisce.

L'ohmetro consiste in sintesi, in uno strumento sensibile, in una sorgente di bassa tensione a c.c., ed in varie resistenze limitatrici di corrente.

Il primo è generalmente un milliampèrometro o microampèrometro convenzionale del tipo a bobina mobile; la tensione viene fornita di solito da una pila contenuta nella cassetta dello strumento stesso o ad esso collegata.

I valori resistivi in uso nelle apparecchiature elettroniche variano da frazioni di ohm a diversi milioni di ohm (Megaohm = Mohm). La maggior parte degli ohmetri perciò è costruita in modo da coprire un certo numero di gamme — dai valori più bassi a quelli più alti — collegando opportunamente varie resistenze limitatrici nel circuito.

Le diverse gamme possono essere poi scelte così come abbiamo visto per il voltmetro e l'amperometro, mediante il collegamento dei puntali (terminali o cavi di prova) ad opportune boccole, oppure mediante la rotazione di un apposito commutatore; in quest'ultimo caso due sole boccole sono sufficienti a tutte le misure, in quanto comuni a tutte le portate.

La scala dello strumento può essere tarata in modo da avere dei valori determinati per ogni portata, oppure si può avere un'unica scala i cui valori devono essere moltiplicati per un determinato fattore a seconda della portata scelta.

Ohmetro in serie

Nel circuito ohmetrico basilare della **figura 1 F** si notano una batteria da 4,5 volt, una resistenza variabile **Ra**, ed una resistenza fissa **Rb** collegate in serie ad un milliampèrometro.

I due collegamenti (puntali) contrassegnati **P1** e **P2** rappresentano i terminali di prova che devono essere portati in contatto con i capi della resistenza da misurare, **Rx**.

Lo strumento ha una portata da 0 a 1 mA a fondo scala; ciò vuol dire, come ben sappiamo, che il suo indice compie una deflessione completa con una corrente di 1 mA. La sua resistenza interna è di 50 ohm. Solitamente, come diciamo più avanti, si impiegano strumenti più sensibili, ma ai fini dell'esposizione della teoria relativa è comodo basarsi su questi valori.

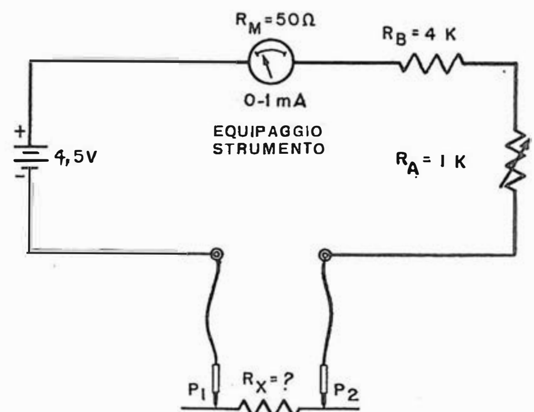


Fig. 1 F - Circuito base, del tipo in serie, per l'ohmetro. Si notano una batteria da 4,5 volt, una resistenza variabile R_A, ed una resistenza fissa R_B, collegate in serie ad un milliamperometro. Portando in contatto tra loro i due puntali, contrassegnati P1 e P2, si regola R_A in modo che la corrente ad R_M (resistenza interna dello strumento) sia esattamente 1 mA.

La resistenza fissa **Rb** limita il passaggio della corrente ed è collocata nel circuito allo scopo di evitare danni allo strumento; in mancanza di questa infatti, se la resistenza variabile **Ra** fosse portata ad un valore basso, ossia di pochi ohm, il passaggio di corrente potrebbe essere eccessivo per lo strumento all'atto della chiusura del circuito attraverso i puntali.

La resistenza variabile **Ra** ha il compito di regolare la resistenza totale in serie al circuito in modo da permettere il passaggio di una corrente di 1 mA esatto quando i puntali vengono cortocircuitati; ciò nel nostro caso avviene quando la resistenza totale in serie ammonta a 4.500 ohm (infatti 4,5 volt : 4.500 ohm = 1 mA).

Nel circuito illustrato la resistenza interna dello strumento è, come si è detto, di 50 ohm, il valore di **Rb** è di 4.000 ohm, ed **Ra** — il cui valore massimo è di 1.000 ohm — viene regolata al valore di 450 ohm, in modo da ottenere una resistenza totale di 4.500 ohm, il che per-

mette la completa deflessione dell'indice all'atto della chiusura del circuito, come si è visto.

Quando i puntali vengono messi in contatto tra loro, la corrente scorre nel circuito e l'indice dello strumento ovviamente si sposta lungo la scala.

Detta corrente può essere regolata mediante una manopola posta sul pannello frontale dello strumento, agendo sulla quale si fa coincidere in maniera esatta l'indice col fondo scala; per questo motivo detta manopola è contrassegnata « regolazione zero ». Tale posizione dell'indice corrisponde al valore di resistenza « zero », dato che i due puntali di prova si trovano tra loro in corto circuito.

Da ciò si può dedurre che, nel circuito dell'ohmetro in serie, i valori di resistenza più bassi sono verso la fine della scala, mentre i più alti sono in principio (minore deflessione).

Con l'invecchiamento della batteria, la sua tensione diminuisce; in questo caso si provvede a riportare a zero l'indice mediante la medesima **Ra**, in quanto, riducendone il valore, si riduce la resistenza totale in serie.

Questa resistenza di taratura, o di regolazione, o di azzeramento, può essere collegata sia in serie che in parallelo allo strumento; in quest'ultimo caso essa è connessa in serie ad un'altra resistenza fissa, mentre entrambe a loro volta sono in parallelo allo strumento.

Per ottenere la massima precisione nella misura di resistenza mediante l'ohmetro, è opportuno effettuare l'azzeramento immediatamente prima di ogni misurazione.

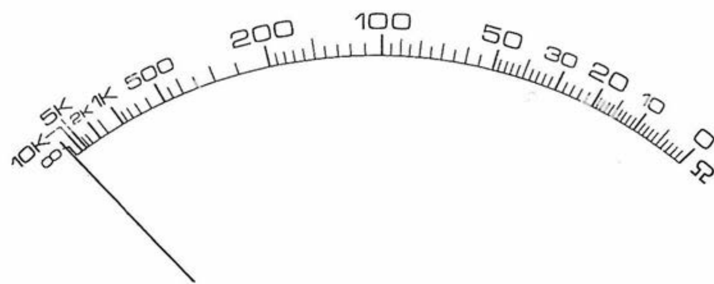
Dopo aver regolato l'ohmetro per una deflessione fino a fondo scala, i puntali vengono separati e l'indice ritorna così alla sua posizione di riposo, a sinistra della scala.

Quando i puntali vengono collegati ai capi di una resistenza di valore incognito, la stessa risulta inserita in serie al circuito: la corrente viene ulteriormente limitata, e l'indice non raggiunge più il fondo scala.

Se il valore della resistenza sotto prova **Rx** è eguale a quello totale delle resistenze già presenti nel circuito, l'intera resistenza viene ad assumere il valore di 4.500 + 4.500, ossia 9.000 ohm. In questo caso la corrente che scorre nel circuito diventa (**I** = **E** : **R**, ossia 4,5 : 9.000) pari a 0,0005 ampère, vale a dire 0,5 milliampère. Questo valore è esattamente la metà di quello necessario per la completa deflessione: l'indice si porta di conseguenza al centro della scala.

Quando si esegue la taratura della scala dello strumento illustrato nella figura 1 F il punto centrale della stessa viene contrassegnato col valore di 4.500 ohm in conseguenza di ciò che abbiamo testé visto.

Se il valore di **Rx** è pari al doppio di quella del circuito dell'ohmetro, la resistenza totale risulta triplicata: la corrente si riduce allora ad un terzo del valore massimo. In questo caso l'indice si sposterà per un terzo della scala, e



Negli ohmetri adottanti il circuito in serie (vedi figura 1 F) e che sono la quasi generalità dei tipi incorporati nei « tester », il valore di resistenza « zero » si trova all'estremità destra della scala in quanto l'indice ha la sua massima deflessione per il passaggio di tutta la corrente prevista per lo strumento allorché i due puntali sono in diretto contatto tra loro (resistenza = 0). La resistenza sotto misura, interposta tra i puntali, riduce perciò la deflessione.

tale punto verrà contrassegnato con 9.000 ohm, pari ad **Rx.**

Tutti i punti della scala dell'ohmetro possono essere individuati comodamente mediante la formula:

$$Rx = Rc\ \left(\frac{I1 - I2}{I2}\right)$$

nella quale:
Rx = resistenza incognita.
Rc = resistenza totale con puntali cortocircuitati.
I1 = corrente totale con puntali cortocircuitati.
I2 = corrente ottenuta quando **Rx** viene collegata in serie.

Ad esempio, troviamo il valore di **Rx** quando l'indice indica una corrente di 0,25 mA attraverso il circuito ohmetrico.

$$Rx = 4.500\ \left(\frac{1 - 0,25}{0,25}\right) = 13.500 \text{ ohm}$$

Mediante l'uso di questa formula è possibile tarare l'intera scala per leggere il valore di una resistenza incognita connessa ai puntali, direttamente in ohm.

Il circuito dell'ohmetro in serie non può essere impiegato per misurare accuratamente la bassa resistenza di bobine, di impedenze e di avvolgimenti di trasformatori, il cui valore è spesso inferiore a 5 ohm, in quanto tali valori sono talmente vicini nell'estremità destra della scala dello strumento, che sarebbe praticamente impossibile distinguerli. Vediamo di confermare con un esempio pratico quanto detto ora, facendo ricorso alla formula di taratura enunciata precedentemente.

Supponiamo infatti, che la scala dello strumento abbia 10 divisioni, con le medesime caratteristiche del circuito della figura 1 F; con una deviazione da parte dell'indice di 9/10 della scala — ossia con una deviazione di 1/10 rispetto al valore di zero ohm — la corrente ammonta a 0,9 milliampère. Usando la formula di taratura per determinare il valore ohmico corrispondente a tale lettura, abbiamo

$$Rx = Rc\ \left(\frac{I1 - I2}{I2}\right) = 4.500\ \left(\frac{1 - 0,9}{0,9}\right) = 500 \text{ ohm}$$

Se una resistenza di 500 ohm provoca una deflessione dell'indice di 9/10 della intera scala, tutti i valori inferiori a 500 ohm devono essere contenuti nello spazio occupato da 1/10 della scala; risulta allora evidente che non è possibile leggere valori molto bassi col circuito in serie, e quindi bisogna ricorrere ad altri circuiti.

Ohmetro in parallelo

Mediante il circuito dell'ohmetro in parallelo o in derivazione (vedi **figura 2 F**) è possibile misurare accuratamente valori resistivi bassi.

In questo caso la resistenza di valore incognito viene collegata in parallelo allo strumento; una parte della corrente che percorre il circuito passa attraverso **Rx** e viene di conseguenza ridotta contemporaneamente la deflessione dell'indice.

La corrente che passa nella bobina mobile dello strumento dipende dal rapporto tra la resistenza interna dello stesso, ed il valore di **Rx**; quando il primo valore è noto, **Rx** può essere determinata dalla formula:

$$Rx = Rm \left(\frac{I1}{I1 - I2}\right)$$

nella quale

Rx = resistenza incognita.

Rm = resistenza interna dello strumento (bobina mobile).

I1 = corrente dell'ohmetro (con **Rx** esclusa).

I2 = corrente nell'ohmetro (con **Rx** in circuito).

Tenendo i puntali di prova isolati tra loro, si regola **Ra** fino ad avere la massima deflessione dell'indice, ossia fino ad avere nel circuito la corrente di 1 milliampère.

I puntali vengono quindi collegati ai capi di **Rx** (figura 2 F), la quale viene così a trovarsi in parallelo al milliampèrometro: in tal modo la corrente che attraversa quest'ultimo, come abbiamo accennato, si divide in due parti. La corrente presente nello strumento è direttamente proporzionale al valore di **Rx**, ed il risultato consiste in una riduzione della deflessione dell'indice.

Ad esempio, se il valore di **Rx** è eguale a quello dello strumento stesso, ossia 50 ohm, si realizza il caso di due resistenze eguali in parallelo tra loro; la corrente si divide in due parti eguali, l'indice si porta al centro della scala indicando 0,5 mA, il quale valore corrisponde perciò al valore ohmico di 50 ohm.

Tutta la scala può essere tarata o, come si suol dire anche, calibrata, con l'aiuto della formula sopra riportata.

Il valore di resistenza indicato aumenta progressivamente da sinistra a destra, coincidendo il suo massimo con l'intera deflessione. Ciò è un comportamento evidentemente contrario a quello già visto, del circuito in serie, di cui alla figura 1 F.

Il fatto che la resistenza interna dello strumento venga « shuntata » da **Rx** ha un effetto trascurabile sulla resistenza totale del circuito, poiché il valore risultante ai capi dello stesso è sempre inferiore a 50 ohm — per qualsiasi valore di **Rx** — ed una variazione di meno 50 ohm in un circuito in serie avente una resistenza totale di 4.500 ohm costituisce una frazione ben piccola del valore totale. Pur provocando così un aumento della corrente totale, esso è talmente basso da poter essere considerato trascurabile agli effetti pratici.

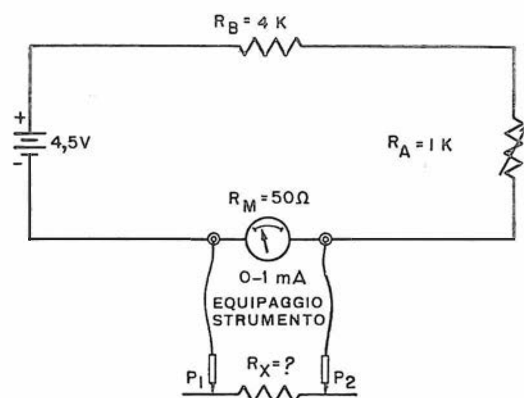


Fig. 2 F - Circuito base del tipo in parallelo o in derivazione, per l'ohmetro. Questa configurazione circuitale è adatta alla misura accurata di valori resistivi bassi. In questo caso la resistenza di valore incognito R_X viene collegata in parallelo allo strumento. R_A ha lo stesso scopo che nell'ohmetro del tipo in serie, ma per la regolazione, i puntali P1 e P2 devono essere mantenuti isolati.

La gamma utile della scala di un ohmetro analogo a quello descritto ed illustrato nella figura 2 F, è compresa all'incirca tra 5 e 400 ohm. I valori inferiori o superiori a tali estremi sono difficili da leggere con precisione in quanto sono troppo vicini tra loro, alle estremità della scala.

Nell'eventualità che occorra una maggior precisione per valori bassi di **Rx**, detta scala può essere estesa collegando in parallelo allo strumento altre resistenze di determinato valore, con le quali è possibile ottenere varie gamme di valori bassi. La gamma desiderata viene scelta collegando in circuito lo « shunt » appropriato, sia mediante boccole separate che mediante un apposito commutatore.

In tal modo è possibile ottenere letture di valori anche nella gamma delle frazioni di ohm con una certa precisione, in quanto una portata con estremi bassissimi può essere estesa sull'intera scala dello strumento.

La **figura 3 F** illustra un ohmetro in parallelo con tre portate ohmetriche di valori bassi. In esso, quando il commutatore si trova nella posizione neutra 3, la resistenza incognita **Rx** viene collegata direttamente in parallelo allo strumento. Ciò determina una portata massima di 400 ohm, come nella figura 2 F. Quando invece

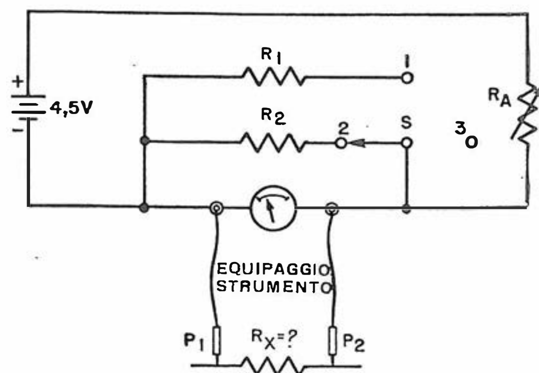


Fig. 3 F - Circuito per ohmetro del tipo in parallelo, con 3 portate. A seconda della posizione del commutatore S la corrente che perviene allo strumento varia in quanto su due portate una parte viene assorbita o da R1 o da R2: ne consegue un minore spostamento dell'indice. Azzerando sempre con R_A (puntali isolati) si ha possibilità di lettura per valori più bassi.

il commutatore viene portato in posizione 1. R1 viene collegata in parallelo allo strumento ed assorbe una parte della corrente; ciò causa uno spostamento inferiore da parte dell'indice, e dà luogo ad una gamma di resistenza più bassa, gamma che è in relazione al valore R1. R2 infine — avendo un valore minore di R1 — provoca uno spostamento ancora minore dato che assorbe una maggiore quantità di corrente.

Il risultato del collegamento di queste resistenze in parallelo allo strumento è che per riportare l'indice all'estremità sinistra della scala sono necessari valori di **Rx** progressivamente inferiori; è così possibile leggere con maggiore precisione valori ohmici bassi.

Ogni volta che si sceglie una portata mediante il commutatore, l'ohmetro deve essere controllato sullo zero mediante la regolazione di **Ra**, prima che la resistenza incognita venga inserita tra i puntali.

Con questo tipo di ohmetro i terminali non vanno cortocircuitati tra loro per l'azzeramento.

Ricordiamo ancora quanto abbiamo accennato circa l'andamento della scala.

Quando **Rx** è collegata al circuito, le letture dei valori resistivi aumentano progressivamente da sinistra a destra della scala dello strumento, ed i valori massimi si trovano in prossimità del fondo scala in quanto, maggiore è il valore della resistenza incognita, minore è la corrente da essa assorbita, ed è quindi maggiore lo spostamento dell'indice.

Ohmetro in serie con R parallelo

La **figura 4 F** illustra un tipo di ohmetro avente una portata di valori alti, e due di valori bassi. Si tratta quindi di un abbinamento delle due tecniche.

Si tratta di un ohmetro in serie tipico in quanto **Rx** viene collegata in serie al circuito; ciò nonostante vi sono degli « shunt » in parallelo allo strumento, con i quali è possibile misurare valori ohmici bassi.

Viene denominato « ohmetro a diverse portate » in quanto permette di effettuare letture di valori in varie gamme.

Allo scopo di migliorare le condizioni di azzeramento, la resistenza di regolazione, **Ra**, e la resistenza limitatrice di corrente, **R3**, sono in serie tra loro ed a loro volta in parallelo allo strumento. Ciò compensa le eventuali variazioni di tensione della batteria dovute al naturale invecchiamento, e permette valutazioni più accurate di **Rx** che non quanto **Ra** è in serie al milliampèrometro.

La resistenza **R4** collegata in serie alla batteria ha il compito di limitare la corrente nel circuito dell'ohmetro, al valore necessario per ottenere all'incirca l'intera deviazione dell'indice, dopo di che la regolazione definitiva viene effettuata agendo su **Ra**.

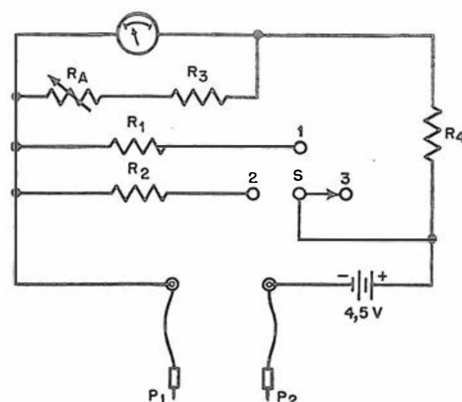


Fig. 4 F - Ohmetro a tre portate: una per valori alti (commutatore S in posizione 3) e due per valori bassi (commutatore su 1 o su 2). La resistenza di azzeramento (R_A) è posta, unitamente alla resistenza limitatrice R3 ad essa in serie, in parallelo allo strumento: ciò consente una migliore regolazione e permette letture più precise della resistenza incognita.

Se il commutatore di portata viene disposto in posizione 3, l'ohmetro è adattato come circuito in serie alla portata di valori alti, ed è possibile quindi misurare alte resistenze collegandole tra i puntali **P1** e **P2**.

L'azzeramento deve essere eseguito portando detti puntali in cortocircuito tra loro.

Quando si desidera invece una portata bassa, il commutatore viene messo in posizione 1, per cui **R1** viene ad essere in parallelo allo strumento. Poiché da ciò deriva una variazione della resistenza in serie del circuito, è necessario azzerare nuovamente mediante **Ra**, come pure è necessario fare per la gamma ancora più bassa, corrispondente alla posizione 2 del commutatore.

Negli ohmetri a diverse portate è possibile disporre di scale separate per ogni portata. Tuttavia, un sistema più pratico consiste nel calibrare lo strumento con i valori della sua portata più bassa, e quindi servirsi di fattori di moltiplicazione per leggere valori nelle portate maggiori.

Poiché i fattori di moltiplicazione dei circuiti voltmetrici in serie sono di solito in decadi, quelli delle portate ohmetriche possono essere di conseguenza **R** × 1, **R** × 10, **R** × 100 e così via. Le resistenze componenti il circuito devono essere scelte in conformità al relativo fattore di moltiplicazione.

La lettura effettiva in questo caso corrisponde a quella indicata dallo strumento, moltiplicata per il fattore indicato dal commutatore.

Ad esempio, se la lettura dello strumento è

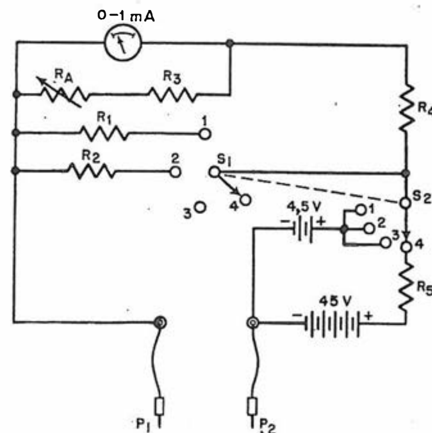


Fig. 5 F - Circuito ohmetrico a 4 portate. Si noti la presenza di due batterie (una da 4,5 e l'altra da 45 volt) che alimentano rispettivamente una portata bassa, due medie, ad una alta, che possono essere commutate mediante il commutatore a due sezioni, S1 ed S2. Le resistenze R4 ed R5 fungono da limitatrici di corrente.

30, ed il fattore di moltiplicazione è 100, si avrà un valore ohmico di 30 × 100, ossia di 3.000 ohm.

Per misurare i valori resistivi più alti di quelli ottenibili nella gamma maggiore dell'ohmetro illustrato nella figura 4 F, è necessario usare una tensione maggiore. Poiché la corrente che scorre in detto circuito equivale al rapporto tra la resistenza e la tensione (**I** = **E** : **R**), è evidente che, aumentando la resistenza nel circuito si giunge ad un punto in cui la corrente non è più sufficiente a spostare l'indice.

Deve essere adottata perciò una tensione più alta per dar luogo ad una corrente sufficiente nonostante l'alta resistenza.

L'aumento della portata di lettura è proporzionale all'aumento di tensione.

Per fare un esempio, se detta tensione viene aumentata di cinque volte, fino cioè al valore di 22,5 volt, l'aumento della resistenza deve essere eguale; in tal modo si ottiene un fattore di moltiplicazione di 5 agli effetti dei valori indicati sulla scala, per ottenere il valore effettivo di **Rx**. Se invece la batteria usata avesse una tensione di 45 volt, il fattore di moltiplicazione sarebbe 10, e così via.

Naturalmente, anche la resistenza limitatrice **R**4 deve essere aumentata di 5 volte per una tensione di 22,5 volt, e di 10 volte per una tensione di 45 volt, il suo compito essendo sempre quello di limitare la corrente al valore massimo di 1 milliampère.

Il circuito ohmetrico della **figura 5 F** impiega due batterie separate, una da 4,5 volt, ed una da 45 volt.

Con questo schema sono disponibili una portata bassa, due medie, ed una alta, che possono essere commutate mediante il commutatore a due sezioni, **S**1 ed **S**2. Le due gamme più basse e la media più alta delle due, vengono alimentate dalla batteria da 4,5 volt, mentre nella gamma più alta viene inserita automaticamente la batteria da 45 volt, quando il commutatore viene portato in posizione 4.

Il commutatore consta di due sezioni, **S**1 ed **S**2 montate con un unico perno e quindi azionate contemporaneamente; le resistenze **R**4 ed **R**5 sono le limitatrici di corrente.

Quando la batteria da 4,5 volt è in circuito, **R**4 si trova tra detta batteria e lo strumento, mentre **R**5 è esclusa; quando invece la batteria in circuito è quella da 45 volt, **R**5 è in serie ad **R**4 allo scopo di limitare la corrente al valore necessario per ottenere la giusta deflessione dell'indice dello strumento.

La tensione più alta può anche essere ottenuta mediante un circuito di alimentazione (alimentatore) incorporato, ma la cosa presenta qualche difficoltà per cui non è molto pratica.

I puntali devono essere cortocircuitati ad ogni portata per l'azzeramento.

Le resistenze in parallelo delle portate basse sono scelte in modo tale che il fattore di moltiplicazione sia a decadi: in tal modo è possi-

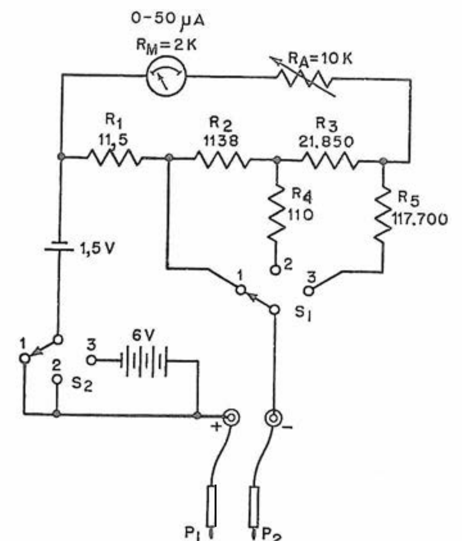


Fig. 6 F - Schema di un ohmetro di realizzazione commerciale. Presenta 3 portate: 0 - 2.000 ohm, 0 - 200.000 ohm, 0 - 20 Megaohm. Occorrono 2 batterie (6 volt e 1,5 volt), un commutatore doppio ed uno strumento da 50 microampère. Le sezioni S1 ed S2 del commutatore sono in tandem e disposte in modo da inserire nel circuito gli « shunt » e le resistenze in serie appropriate, contemporaneamente scegliendo la tensione esatta di alimentazione.

bile tarare la scala sulla sola portata inferiore, i cui valori vanno poi moltiplicati per detto fattore corrispondente alle varie portate più alte.

Tutti gli strumenti usati nei circuiti descritti fino ad ora impiegano strumenti da 1 mA f.s., vale a dire, da 1.000 ohm/volt; ciò è stato utile per indicare i valori di calcolo ma, se, come quasi sempre avviene, si usa uno strumento di maggiore sensibilità (ossia che richiede una corrente minore di 1 mA per la completa deflessione dell'indice), i valori di **Rx** possono essere misurati, in ogni portata, con una tensione di alimentazione molto inferiore.

Infatti, uno strumento da 20.000 ohm/volt richiede una corrente di 50 µA (microampère) per raggiungere il fondo scala, ed è 20 volte più sensibile di quelli citati più sopra; ne consegue che è sufficiente usare batterie di tensione molto inferiore.

Ricordiamo in proposito lo strumento del « tester » che abbiamo descritto per la costruzione nella lezione scorsa. Esso ha una sensibilità di 80 µA e la tensione è perciò di soli 1,5 volt.

La **figura 6 F** illustra il circuito di un ohmetro commerciale che permette letture da 0,2 ohm a 20 Mohm. Tale ampia gamma è divisa in tre portate, e precisamente da 0 a 2.000 ohm, da 0 a 200.000 e da 0 a 20 Megaohm. Le prime due gamme sono alimentate da una batteria da 1,5 volt, mentre con una seconda batteria da 6 volt si ha 1,5 + 6 = 7,5 ciò che estende la sensibilità a 20 Mohm nella portata alta.

Le sezioni **S**1 ed **S**2 del commutatore sono in tandem, e disposte in modo da inserire nel circuito gli « shunt » e le resistenze in serie appropriate, contemporaneamente scegliendo la tensione esatta di alimentazione.

I puntali **P**1 e **P**2 devono essere cortocircuitati, ed è necessario correggere la posizione della resistenza di regolazione dello « zero », **Ra**, per ogni portata.

La scala è tarata in base alla portata più bassa, ed il fattore di moltiplicazione che corri-

sponde alle varie portate sulla manopola del commutatore, dà il valore effettivo della lettura indicata dallo strumento nelle due portate maggiori.

La scala si estende da destra a sinistra; i valori più alti si trovano alla estremità sinistra.

L'alimentazione è ottenuta mediante 5 pile da 1,5 volt. In parallelo allo strumento si trovano gli « shunt » il cui compito — come ben sappiamo — è di ridurre l'ammontare della corrente che scorre nello strumento al solo valore necessario per raggiungere il fondo scala.

Uso dell'ohmetro

Dopo aver esaminato lo schema di un ohmetro completo, capace cioè di molteplici letture, riteniamo utile chiudere l'argomento con un elenco di norme atte, oltre che a far ben comprendere l'uso, a ribadire i princìpi stessi di funzionamento già esaminati. In tal modo, la conoscenza che si acquista in materia sarà molto utile anche per la completa padronanza del proprio multimetro nel quale l'ohmetro è sempre incorporato.

Ed ecco le norme per un buon impiego dell'ohmetro.

a) Ad evitare di collegare l'ohmetro ai capi di una resistenza tra i quali esiste una d.d.p. (resistenza « sotto tensione ») è necessario osservare alcune precauzioni; diversamente, si può danneggiare lo strumento o avere letture errate.

Sebbene l'interruttore generale di rete abbia il compito specifico di eliminare la tensione di alimentazione di una apparecchiatura può accadere che esso risulti difettoso; è buona norma perciò, in ogni caso, staccare la spina del cordone di alimentazione dell'apparecchio sul quale si devono effettuare le misure di resistenza.

Tutti i condensatori devono essere scaricati perché la tensione eventualmente presente ai loro capi può provocare gravi danni.

Dato poi che le condizioni a « caldo » di un apparecchio possono essere alquanto differenti da quelle « a freddo », è opportuno attendere qualche minuto dopo aver spento l'apparecchio in questione prima di sottoporlo a verifiche ohmetriche.

b) Quando in un circuito si effettuano verifiche di resistenza, ogni elemento può essere misurato individualmente staccandolo dal circuito stesso e collegando l'ohmetro ai suoi capi.

Tale metodo comporta tuttavia una notevole perdita di tempo; si preferisce allora riferire i valori ad un punto comune, che solitamente è la « massa », ossia il punto negativo dell'alimentazione. In tal modo, è possibile misurare e verificare rapidamente intere sezioni di un apparecchio elettronico onde determinare la presenza di condizioni anormali.

A volte, certe apparecchiature sono corredate da tabelle che indicano i valori resistivi da « punto a punto »; l'ohmetro può essere inserito tra detti punti, dopo di che è possibile confrontare le letture ottenute con quelle della tabella.

Allorché si rileva una lettura diversa, si può staccare ogni singolo elemento dalla sezione e controllarlo separatamente. È sufficiente staccare un capo solo; questo accorgimento è già sufficiente ad evitare che vi siano perdite dovute alla chiusura del circuito attraverso un percorso diverso da quello dell'ohmetro stesso.

In altre parole, per far sì che le letture non risultino falsate dalla presenza di un circuito in parallelo alla resistenza da misurare, basta interrompere detto circuito e verificare la resistenza o qualsiasi componente tra un capo in comune con altri circuiti, ed il secondo capo del componente che è stato invece precedentemente isolato.

c) Un condensatore che abbia perdite, collegato in parallelo ad una resistenza, può causare una lettura ohmetrica errata a seconda della perdita stessa; il valore letto è dato in tal caso dalla risultante tra la resistenza effettiva del componente e quella in parallelo costituita dalla perdita di isolamento citata.

In tali condizioni l'indice dello strumento dà una lettura anche se la resistenza in parallelo è completamente interrotta, per cui, allo scopo di avere delle letture esatte, è sempre opportuno staccare almeno un capo del componente prima di collegare l'ohmetro.

d) Le mani del tecnico operatore non devono mai essere a contatto dei puntali. Essendo la resistenza del corpo umano inferiore generalmente a 50.000 ohm, essa può dare adito ad errori, specialmente nei casi in cui si misurano resistenze di valore elevato, in quanto viene a trovarsi in parallelo al circuito da misurare.

Per questo motivo, è sempre opportuno effettuare le misure tenendo tra le mani la parte isolata dei puntali.

e) L'ohmetro può essere utilizzato per effettuare controlli sommari dei condensatori onde determinare la presenza di perdite o di cortocircuiti: in questo caso — purché non si tratti di condensatori elettrolitici — si usa la portata più elevata, dato che in tal modo si dispone della tensione maggiore.

Si osserva lo strumento e si collegano i puntali ai capi del condensatore: se quest'ultimo è efficiente, l'indice ha uno scatto e ritorna immediatamente alla posizione che indica resistenza infinita. Lo scatto è dovuto al passaggio di corrente causato dalla carica che assume il condensatore stesso in conseguenza della tensione della batteria.

Lo scatto è tanto maggiore quanto maggiore è la capacità; il tempo impiegato per il ritorno dell'indice aumenta in proporzione. Se il condensatore non ha perdite, l'indice ritorna all'inizio della scala in un tempo relativamente breve.

Se l'indice non subisce alcuno spostamento. ciò indica che i terminali della capacità sono

interrotti in un punto, oppure che essa è troppo bassa per avere una deflessione apprezzabile, mentre, per contro, una deflessione completa indica il cortocircuito tra le armature, ed una deflessione parziale e stabile indica una perdita di isolamento.

La resistenza di un condensatore a carta deve essere superiore a 50 Mohm per microfarad, e quella di un condensatore a mica deve essere superiore a 100 Mohm.

Oltre ai suddetti controlli sommari, se opportunamente modificato, il circuito ohmetrico può funzionare come un vero e proprio capacimetro e come tale fornire una valutazione diretta della capacità. Il concetto operativo è quello di alimentare il circuito con una elevata tensione alternata e quindi di valutare la « reattanza capacitiva » del condensatore ed indirettamente la sua capacità.

f) Anche per la prova di condensatori elettrolitici si usa la portata maggiore, ma, dal momento che la corrente passa più facilmente in una direzione che nell'altra, per non avere indicazioni errate è necessario osservare la polarità.

Non appena si collegano i puntali ai terminali del condensatore elettrolitico, l'indice subisce una notevole deviazione a causa della capacità generalmente elevata, dopo di che torna lentamente alla posizione di riposo, man mano che il condensatore si carica con la tensione della batteria.

Di solito si ha uno spostamento anche se il condensatore è completamente carico. Se esso è in condizioni normali, per una tensione di lavoro di 250 volt, la resistenza deve essere superiore a 500.000 ohm, mentre per tensioni di lavoro inferiori, si hanno letture proporzionalmente più basse.

In linea di massima, si può aggiungere che, per assicurarsi delle buone condizioni di un condensatore, è sempre opportuno effettuare la prova invertendo successivamente i puntali: in questo caso, se la capacità è abbastanza elevata (da 50.000 pF in su), si avrà in un primo tempo uno spostamento minore, e, successivamente (ossia invertendo i puntali), uno spostamento molto maggiore: infatti, la tensione della batteria viene a sommarsi a quella presente ai capi del condensatore in esame dovuta alla carica datagli dalla lettura precedente.

Ciò avviene perché la prima carica determina una polarizzazione del condensatore, e, durante la seconda verifica con puntali invertiti, il terminale positivo della batteria viene collegato a quello dell'elettrodo con tensione negativa, ciò che, ponendo le tensioni in serie tra loro, le somma.

Nel caso invece del condensatore elettrolitico, si avrà in un senso una certa deviazione, e nell'altro una deviazione maggiore per il medesimo motivo, con la differenza che, con una data polarità, l'indice tornerà rapidamente alla posizione di riposo, e con l'altra tornerà lentamente verso tale posizione, arrestandosi in un punto corrispondente alla quantità di corrente che riesce a passare.

In tal modo, qualora la polarità del condensatore elettrolitico non fosse più decifrabile dalle sue indicazioni, è possibile determinarla per confronto con un altro condensatore di polarità nota. Basterà infatti individuare le posizioni di ritorno a zero in entrambi, e contrassegnare la polarità conformemente.

* * *

A conclusione di quanto abbiamo esposto sin qui in merito agli strumenti, ai circuiti voltmetrici, a quelli amperometrici ed in ultimo a quelli ohmetrici, si può asserire che tutti i calcoli necessari alla risoluzione dei diversi problemi fanno perno sulle caratteristiche dello strumento vero e proprio.

Tra queste si distingue per importanza la « resistenza interna » ossia la resistenza propria del misuratore. È ovvio che se questo valore è incognito l'adattamento e l'uso dello strumento in un circuito — specialmente se circuito di misura multipla — rimane oltremodo difficile.

Dopo alcune note su di un ulteriore, interessante impiego dell'ohmetro, diremo come possa essere accertata detta resistenza, se incognita.

Controllo transistori con ohmetro

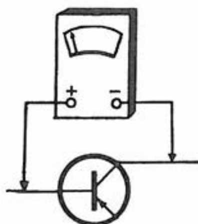
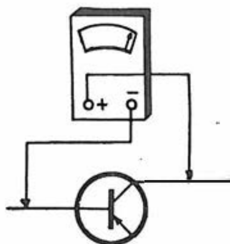


Fig. 7 F - Una resistenza ALTA si riscontra nell'applicazione dei puntali dell'ohmetro tra base e collettore di un transistore PNP allorché i puntali presentano la polarizzazione qui indicata.



Una resistenza BASSA si ha invertendo tra loro due puntali.

L'ohmetro torna assai utile, specialmente quando esso fa parte di un « tester », per un controllo sommario dei transistori. Ben inteso, con l'ohmetro non si può verificare (se non con operazioni aggiuntive non troppo pratiche) il grado di efficienza del transistore, tuttavia è innegabile che la prima verifica cui il tecnico è portato, è quella della integrità o meno del transistore e questa indicazione è appunto quella che l'ohmetro può dare.

Impiegando l'ohmetro per queste verifiche è indispensabile, per prima cosa, conoscere la polarità dei puntali. Non ci si deve fidare del colore dei cordoni ma occorre verificare lo schema dello strumento per osservare, ad esempio, quale polarità reca il puntale « comune ». Assai spesso esso è positivo (nonostante lo si usi col cordone nero) così come accade nel nostro ohmetro descritto nella lezione precedente. Poiché tra i puntali dell'ohmetro vi è una differenza di potenziale (la tensione proviene dalla pila interna) è bene sapere a priori a quanto essa ammonti; con diversi transistori sarebbe dannoso usare, in queste prove, tensioni superiori ai 5 o 6 volt.

Sia per conoscere la polarità dei puntali, sia per sapere quale tensione è presente tra di essi nelle diverse portate ohmetriche, il metodo più sicuro è quello, potendolo, di leggere questi dati mediante un altro « tester » posto in posizione di voltmetro c.c.

In linea di principio si eviti di eseguire il con-

trollo dei transistori impiegando le posizioni di scala ohmetrica minima e massima per via della corrente o della tensione che ciò potrebbe comportare.

La **figura 7 F** (pagina 7 f) illustra l'applicazione dei puntali dell'ohmetro ad un transistore PNP, tra base e collettore. La resistenza deve essere alta se alla base è connesso il puntale positivo; invertendo i puntali (figura sottostante) si deve riscontrare una resistenza bassa.

Naturalmente non è possibile indicare un valore preciso perché molto dipende dall'ohmetro impiegato e dai diversi tipi di transistori oltre che dalla loro natura (se al germanio o al silicio). Ciò che conta è il valore significativo. Con transistori di potenza si avranno valori di resistenza notevolmente inferiori, e con i transistori al germanio i valori sono più bassi di quelli che si riscontrano con i transistori al silicio.

La **figura 8 F** mostra il controllo da eseguire dopo quello effettuato secondo la figura precedente. Si tratta della verifica base-emettitore. Il transistore, abbiamo detto (e si vede nelle figure) è un PNP. Con la prima applicazione dei puntali si deve avere resistenza alta: invertendoli si ha resistenza bassa.

Tutto ciò che abbiamo sin qui detto circa i valori resistivi da riscontrare va inteso al contrario se il transistore è un NPN. Con la stessa applicazione di puntali si leggeranno resistenze basse laddove con il PNP erano alte, e viceversa.

Questo particolare può costituire anche un sistema di identificazione (se PNP o NPN) di un transistore non noto, se si è ben sicuri della polarità dei puntali e della posizione dei piedini-elettrodi.

Il procedimento di impiego dell'ohmetro di cui ci stiamo occupando si presta anche per il controllo e l'identificazione dei diodi.

Se si applica il puntale positivo ad un estremo del diodo e l'altro all'altro estremo e si legge una resistenza alta, vuol dire che al puntale positivo corrisponde il catodo del diodo. La resistenza può essere da 50 000 ohm a 10 MΩ o più: ciò significa che la giunzione in questo caso viene polarizzata in senso inverso.

La controprova si ha invertendo i puntali. La giunzione allora rimane polarizzata in diretta e la resistenza che si legge è di valore basso (da 50 a 500 ohm circa).

Anche i diodi Zener (diodi particolari spesso impiegati per mantenere stabile una tensione) possono essere controllati col sistema indicato. Occorre però che la tensione della pila dell'ohmetro non superi quella che viene definita appunto la tensione di Zener e che è propria (ed indicata nella sua sigla) di ciascun diodo di quel tipo.

La **figura 9 F** riassume quanto abbiamo illustrato prima; costituisce un ottimo ausilio per ricordare rapidamente quale resistenza (alta o bassa) ci si deve attendere a seconda dell'applicazione dei puntali e del tipo di transistori sotto controllo. I valori resistivi indicati sono quelli medi; è dato di trovare valori più alti e più bassi di quelli riportati in figura.

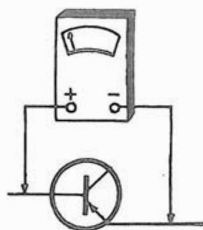
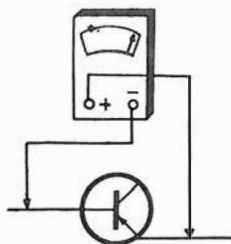


Fig. 8 F - Una resistenza ALTA si riscontra nell'applicazione dei puntali dell'ohmetro tra base ed emettitore di un transistore PNP allorché i puntali presentano la polarizzazione qui indicata.



Una resistenza BASSA si ha invertendo tra loro i due puntali.

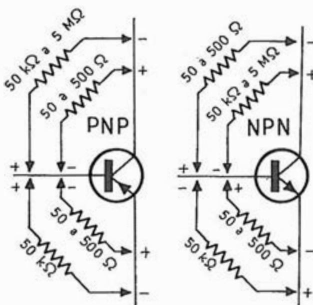


Fig. 9 F - La figura di sinistra riassume schematicamente quanto si è detto alle figure 7 ed 8 F a proposito delle letture con ohmetro su transistori PNP. La figura di destra invece, si riferisce ad analoghi controlli effettuati su transistori NPN che, come si vede, denunciano un andamento esattamente contrario.

Misura della resistenza interna

Vogliamo ora mettere in grado il lettore di ricavare da sé il valore di resistenza di uno strumento. Ben inteso, è necessario disporre momentaneamente di un altro strumento di lettura opportunamente tarato e pronto alla lettura di valori resistivi.

Però è opportuno qui fare subito presente che, nel tentativo di misurare la resistenza interna di uno strumento con l'aiuto di un « tester » sussidiario, può anche accadere di bruciare la bobina mobile che si vuol misurare.

Riteniamo quindi utile illustrare — per tale operazione — il sistema denominato « centro scala » che consente la determinazione del valore ovviando al citato, gravissimo inconveniente.

Il sistema fondamentale è assai semplice e la precisione è notevole, specialmente nei casi in cui la resistenza dello strumento è bassa e la sensibilità è alta.

Per determinare la resistenza dell'equipaggio mobile di uno strumento, è sufficiente collegare in serie tra loro, lo strumento stesso, una resistenza variabile di valore alto (R1) ed una batteria, nel modo indicato in A della **figura 10 F**.

Si regola quindi la resistenza variabile fino ad ottenere l'intera deviazione dell'indice, ossia finché quest'ultimo si porta all'estremità destra della scala.

A questo punto si collega in parallelo allo strumento una resistenza variabile (R2) (figura 10 F in B), la quale viene regolata fino ad avere un'indicazione da parte dell'indice, pari alla metà della scala stessa, ossia finché detto indice si porta al centro.

Ciò fatto si disinserisce R2 e se ne misura il valore; tale valore corrisponde a quello della resistenza della bobina mobile, con un errore che può aggirarsi intorno all'1%, e che può perciò, nella maggior parte dei casi, essere considerato trascurabile.

La resistenza in serie R1 deve essere abbastanza elevata onde evitare che lo strumento venga sovraccaricato con conseguente danno alla bobina ed all'indice.

Nel caso di uno strumento con sensibilità di 1 mA fondo scala, la resistenza in serie deve avere un valore superiore a 1.000 ohm per ogni volt della batteria: se lo strumento ha invece una sensibilità di 50 μA, si richiede una resistenza maggiore di 20.000 ohm per volt.

Se infine l'equipaggio mobile ha una sensibi-

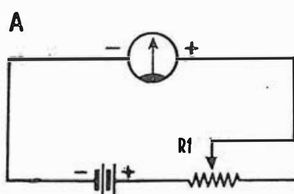
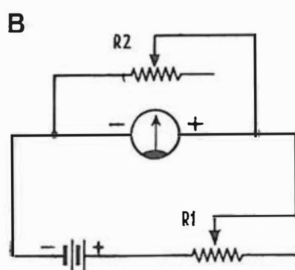


Fig. 10 F - Per individuare il valore di resistenza della bobina mobile di uno strumento si attui il circuito qui illustrato. Il valore di R_1 deve essere in rapporto alla tensione della batteria, come è detto nel testo, nonché alla sensibilità dello strumento.



Regolata R_1 per la lettura a fondo scala secondo lo schema della figura precedente, si inserisce R_2: il suo valore massimo è in relazione al tipo di strumento e va da 100 a 5.000 ohm. Si regola R_2 sino a portare in centro l'indice dello strumento, indi la si disinserisce e si misura il suo valore: tale valore corrisponde a quello della bobina mobile.

lità di 20 microampère fondo scala, la resistenza per limitare la corrente deve essere superiore a 50.000 ohm per ogni volt della batteria.

La resistenza interna degli strumenti varia notevolmente col variare della Marca: esistono anche leggere differenze da strumento a strumento. Per i tipi più comuni di strumenti da pannello, la resistenza variabile in parallelo R2 deve essere dell'ordine di 100 ohm, per strumenti di 1 milliampère fondo scala.

Per uno strumento da 50 microampère detta resistenza deve essere dell'ordine di 2.000 ohm, mentre per uno strumento da 20 microampère essa deve avere un valore di almeno 5.000 ohm.

È importante ricordare che se R1 è di valore troppo basso, lo strumento può subire dei danni, mentre nessun valore inadatto di R2 potrà avere delle conseguenze di tal genere.

Nel calcolo della resistenza interna è inevitabile un certo errore: ad esempio, se si impiega una batteria da 3 volt per controllare uno strumento da 1 mA fondo scala avente una resistenza interna di 52 ohm, il valore di R1 necessario per determinare la completa deviazione dell'indice dovrebbe essere di 2.948 ohm (supponendo che la resistenza interna della batteria sia zero).

Allorché R2 viene collegata in parallelo allo strumento, la resistenza interna totale del circuito viene ad essere leggermente inferiore a 3.000 ohm, e la corrente totale erogata dalla batteria è leggermente superiore ad 1 milliampère.

Se si regola R2 in modo che l'indice si porti al centro della scala, lo strumento permetterà il passaggio di 0,5 mA, ma R2 lascerà passare una corrente leggermente maggiore.

Dal momento che la resistenza interna dello strumento ed R2 sono in parallelo, le cadute di tensioni presenti ai capi di entrambe sono eguali, per cui è logico dedurre che il valore ohmico di R2 è leggermente inferiore a quello della bobina mobile dello strumento.

L'ammontare dell'errore dipende dal rapporto tra il valore di R1 e quello della resistenza dello strumento; in questo caso esso ammonta a meno dello 0,9%. Se si aumenta la tensione della batteria, è necessario aumentare proporzionalmente il valore di R1, il che riduce la possibilità di errore.

Nell'esempio del quale ci siamo serviti, se si usasse una batteria da 90 volt, l'errore risultante sarebbe leggermente inferiore allo 0,3%, errore che può essere considerato trascurabile agli effetti pratici nella maggior parte dei casi.

Il lettore che, seguendo questo corso, ha costruito la cassetta di decadi resistive descritta nella quarta lezione, potrà effettuare in tal caso un primo efficace impiego di quest'ultima. Essa infatti, collegata in parallelo allo strumento al posto di R2, permetterà di valutare la resistenza della bobina mobile con l'approssimazione di ± 1 ohm.

Norme sull'uso dei "tester"

Prima di servirsi di un « tester » del commercio per effettuare delle misure, è opportuno leggere con la massima attenzione tutte le istruzioni di uso contenute nel libretto che generalmente viene fornito con lo strumento; tali istruzioni devono essere seguite scrupolosamente.

Il pannello frontale, ed in particolare la zona che circonda le boccole di collegamento alle varie portate, deve essere pulito ed asciutto, allo scopo di evitare che le sostanze umide o eventualmente conduttive ivi depositate sotto forma di polvere, possano chiudere parzialmente un circuito esterno tra le boccole stesse, costituendo così una perdita di isolamento che si traduce in un errore di lettura, specie se lo strumento è molto sensibile.

Nell'uso di un « tester » su qualunque sua portata, è necessario osservare la seguente procedura:

Quando esiste una regolazione dello zero, essa deve essere effettuata prima di eseguire qualsiasi lettura ohmetrica, in quanto, negli ohmetri a diverse portate, non è sempre possibile realizzare i circuiti in modo tale che l'azzeramento sia costante per tutte le portate stesse.

Nelle portate volt-amperometriche non esiste, come sappiamo, alcun azzeramento, ad eccezione di quello meccanico che agisce direttamente su una delle spirali antagoniste dell'equilibrio mobile; questa particolare messa a zero va controllata solo di tanto in tanto.

È inoltre opportuno rilevare che gli strumenti montati sugli analizzatori di produzione commerciale, devono quasi sempre essere usati in posizione orizzontale.

Nelle portate ohmetriche è invece indispensabile disporre del controllo manuale di azzeramento, di cui si è detto, al fine di compensare le eventuali variazioni di tensione della o delle batterie, variazioni dovute al loro uso o al naturale invecchiamento.

Se l'azzeramento non viene raggiunto mediante l'uso del controllo esterno, è necessario sostituire le batterie, oppure agire sul controllo interno allo strumento stesso, secondo quanto eventualmente specificato nelle istruzioni.

Prima di effettuare qualsiasi misura, sia voltmetrica che amperometrica, adattare lo strumento, come già detto, alla portata più alta, e diminuire poi detta portata fino ad avere una lettura il più possibile prossima al fondo scala destro, tenendo presente che il passaggio da una portata all'altra deve essere sempre effettuato dopo aver staccato dal circuito almeno uno dei puntali.

Ad esempio, se si deve misurare una tensione sconosciuta, in c.c., con uno strumento aven-

te le portate 10, 50, 250, 500 e 1.000 volt, conviene partire dalla portata 1.000 V ed effettuare la lettura; se essa non è apprezzabile, si prova con la portata immediatamente inferiore, e così via, fino ad avere l'indicazione più facilmente leggibile.

Altrettanto vale per le portate in c.a., nonché per le portate amperometriche: resta però inteso che, nel caso si sappia a priori l'ordine di grandezza della tensione o della corrente da misurare, detta procedura potrà essere seguita parzialmente e cioè soltanto nel senso che si adatterà lo strumento ad una portata il cui fondo scala sia unicamente superiore al valore da misurare, e ciò ovviamente ad evitare che l'indice venga spostato violentemente oltre il valore massimo della sua deviazione, col pericolo di gravi danni all'equipaggio mobile.

Prima di effettuare letture ohmetriche, assicurarsi che non vi siano differenze di potenziale ai capi di **Rx**, ossia della resistenza da misurare.

Scaricare tutti i condensatori presenti nel circuito in esame, cortocircuitandoli per qualche secondo. Ciò è importante in quanto, qualsiasi tensione esterna che riesca ad introdursi nel circuito dell'ohmetro attraverso i puntali, può sommarsi a quella della batteria ivi contenuta danneggiando lo strumento.

I commutatori rotanti presenti sul pannello frontale non sono generalmente a rotazione continua, ossia hanno un punto di arresto sia in senso orario che viceversa: detto punto di arresto deve essere avvertito con la mano, e non si deve tentare di vincerne la resistenza meccanica, onde non danneggiare il commutatore.

Osservare quindi tutte le precauzioni elencate precedentemente, sia per evitare guasti allo strumento, sia per ottenere le misure più esatte.

Il « tester » viene usato nella riparazione e nel collaudo delle apparecchiature elettroniche in qualunque caso occorra un voltmetro, un amperometro, o un milliampèrometro od un ohmetro.

Il voltmetro e l'amperometro vengono utilizzati col circuito in funzione — ossia sotto tensione — al fine di misurare le correnti o le tensioni, accertarne la presenza o valutarne l'intensità o l'ampiezza.

L'ohmetro viene invece impiegato con l'apparecchio spento — ossia senza tensioni, o « a freddo » — per verificare il valore delle resistenze, per controllare le capacità e la eventuale presenza in loro di cortocircuiti, nel qual ultimo caso la lettura ottenuta sarà di « 0 » ohm.

Dispositivo di allarme per la presenza di gas

Sensibilità regolabile (sino a 500 parti per milione di gas combustibile) Un elettrodomestico che denuncia la concentrazione superiore a quella di sicurezza, da porre nel bagno o in cucina. Alimentato da rete: basso consumo. La costruzione é semplice, agevolata dal circuito già pronto.

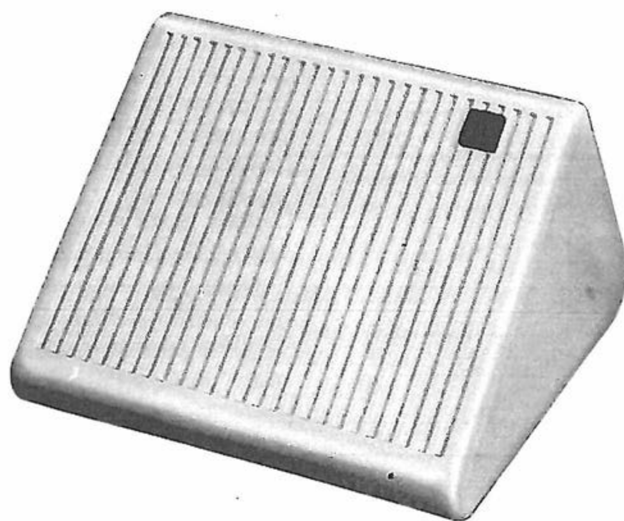


Fig. 11 F - L'aspetto di questo rivelatore è quello di un mobiletto di aspetto piacevole, che può essere appoggiato su un piano o appeso alla parete. Per il gas di città (o per il metano) va collocato a due metri d'altezza; per il gas in bombola, a 30 centimetri da terra. La sua sigla come « kit » Amtron è UK 290. Misura cm 17 × 14,5 × 1 e pesa 850 grammi.

Pronto allarme

Il gas è causa di numerosi infortuni domestici, le cui conseguenze sono sempre di estrema gravità. È quindi opportuno abbondare sempre in precauzioni, per poter godere con tranquillità degli innumerevoli vantaggi offerti da questo tipo di combustibile.

Con questo « kit » (**figura 11 F**) presentiamo un sensibile e preciso sistema di allarme in grado di reagire prontamente alla presenza di concentrazioni di gas che costituiscono un potenziale pericolo.

L'intero circuito è allo stato solido e quindi non possiede contatti in grado di provocare scintillamenti.

L'avvisatore emette un suono particolare in

grado di richiamare l'attenzione e tale da non essere confuso con campanelli od altro.

La lampada spia accesa garantisce l'effettivo funzionamento del sistema e non soltanto la sua connessione alla rete.

La soglia d'intervento è regolabile mediante un semplice comando interno. Rivela la presenza di gas combustibili e specialmente ossido di carbonio, metano, propano, butano, idrogeno ed anche fumi contenenti ancora composti combustibili.

Il funzionamento è basato su una speciale cella rivelatrice a semiconduttore di recentissima realizzazione.

Utilità e pericolosità dei gas

Tra le tante comodità che la moderna civiltà ci offre, il gas è senz'altro una delle più utili. Specialmente l'uso del gas di petrolio liquefatto (G.P.L.) è largamente impiegato in tutti i posti dove non è possibile far arrivare la rete del gas di città. Prima del G.P.L. gli abitanti delle campagne erano condannati all'uso della legna o del carbone per la cucina od il riscaldamento.

Però, come molti ritrovati tecnici di rapido sviluppo, anche il gas presenta pericoli non indifferenti.

Si possono distinguere in linea di massima due tipi di gas.

Nelle città dove esiste una officina del gas, si usa il cosiddetto gas illuminante composto prevalentemente da idrogeno, da metano e da piccole quantità di ossido di carbonio.

Dove non esiste un impianto centralizzato per gas, si usa il G.P.L. sopracitato, conservato in bombole a pressione. Questo gas è composto principalmente da propano e butano miscelati, deriva dalle frazioni più leggere contenute nel greggio del petrolio, e possiede un potere calorifero circa doppio di quello del gas di città.

Tutti e due i tipi di gas presentano pericoli, sia pure di natura diversa.

Il gas illuminante

Il gas illuminante deve principalmente la sua pericolosità alla piccola percentuale di ossido di carbonio che contiene.

L'ossido di carbonio deriva da una combustione incompleta del carbonio con l'ossigeno (la combustione completa produce anidride carbonica). Per l'uomo e per gli animali a sangue caldo costituisce un vero e proprio veleno. Per spiegare l'azione di questo veleno, conviene fornire alcune spiegazioni sul fenomeno della respirazione.

Nel sangue è contenuta una particolare sostanza, l'emoglobina, che ha la proprietà di fissare l'ossigeno formando un composto instabile, l'ossiemoglobina.

Tale composto si scinde nei tessuti restituendo l'ossigeno che ha prelevato nei polmoni per gli usi vitali. Si tratta di un semplice mezzo di trasporto per l'ossigeno. Ma l'emoglobina reagisce anche molto facilmente con l'ossido di carbonio, formando questa volta un composto, la carbossiemoglobina che, al contrario del precedente, è molto stabile.

L'ossido di carbonio perciò si fissa nell'emoglobina, distruggendo le proprietà di trasportare l'ossigeno. L'emoglobina combinata con l'ossido di carbonio diventa quindi inerte agli effetti della respirazione.

Quando una certa percentuale di emoglobina ha perso le sue proprietà per effetto dell'ossido di carbonio, la quantità di ossigeno che arriva nei tessuti e specialmente nel cervello, non è più sufficiente a mantenere la vita e l'organismo muore per asfissia.

Il fatto che la mancanza di ossigeno colpisca per primo il cervello, rende ancora più pericolosa l'azione dell'ossido di carbonio.

Infatti il primo sintomo della mancanza di ossigeno al cervello è il sonno.

Un individuo che inala il gas per prima cosa si addormenta profondamente, e non può più difendersi.

A questo punto sarebbe ancora possibile il salvataggio se un altro individuo cosciente proveniente dall'esterno provvedesse a portare il malcapitato fuori dall'azione del gas. Ma se non arrivano i soccorsi si passa dal sonno alla morte senza possibilità di reazione.

L'azione di un allarme è appunto quella di intervenire prima o durante la fase della sonnolenza, per mettere sull'avviso del pericolo.

Il fatto che il gas abbia un particolare odore, non è rilevante in quanto l'odorato tende a trascurare un odore che persista costante per un certo periodo, o che aumenti in maniera graduale nel tempo.

La segnalazione di un allarme è invece inequivocabile e mette in moto l'istinto di conservazione, impedendo danni irreparabile all'organismo.

Il gas in bombole

Il gas di petrolio liquefatto non contiene ossido di carbonio e quindi non è velenoso per l'organismo, anche se in determinate concentrazioni non permette la respirazione, in quanto occupa il posto dell'ossigeno nell'atmosfera.

Non forma però composti con l'emoglobina, ed il pericolo per la respirazione sopravviene a concentrazioni molto elevate. Il vero pericolo con questi gas è un altro.

Ciascuno ricorderà che i gas combustibili, mescolati in certe proporzioni con l'aria ed accesi, invece di bruciare lentamente esplodono. Tale principio è alla base di fenomeni utili o disastrosi. Come esempio, basta ricordare il motore a scoppio e le esplosioni nelle miniere.

Nel motore a scoppio la miscela tonante del

vapore di benzina e dell'aria produce effetti utili sotto forma di lavoro meccanico.

Nelle esplosioni delle miniere la miscela tonante del metano con l'aria, esplode in maniera non controllata, provocando effetti tremendi. Non bisogna sottovalutare l'importanza di questo fenomeno.

Infatti i composti del petrolio bruciano con uno sviluppo di calore a parità di peso circa triplo di quello degli alti esplosivi come il trinitrotoluene.

Se la combustione avviene in maniera esplosiva, l'enorme quantità di calore si sviluppa in modo « quasi » istantaneo, con effetti molto superiori a quelli degli esplosivi. La differenza sta tutta in quel « quasi »; infatti la rapidità della detonazione degli esplosivi limita gli effetti dell'esplosione entro un certo raggio dalla medesima.

L'esplosione del gas è. invece leggermente più lenta, quel tanto da permettere all'effetto dirompente di estendersi per un raggio notevole. Da questo deriva l'effetto di sventramento che hanno le esplosioni di gas sugli edifici. In pratica basta l'esplosione della miscela tonante contenuta in una sola stanza a provocare danni grandissimi all'intero edificio. La cronaca registra molti casi di questo genere.

Un ambiente si satura di gas magari durante l'assenza del proprietario per la perdita di una bombola. Non appena si produce nell'ambiente una piccola scintilla, suonando il campanello od accendendo la luce, si verifica l'esplosione.

Conoscendo il fatto che l'ambiente è saturo di gas, si potrebbero prendere le adatte precauzioni per evitare il prodursi di scintille e provvedere ad aerare l'ambiente per scongiurare il pericolo.

Con il gas liquefatto il pericolo che avvenga una saturazione con persone presenti è molto scarso in quanto al gas viene aggiunta una sostanza di particolare odore nauseabondo che provoca difficilmente i fenomeni di assuefazione che prima abbiamo visto per il gas di città.

Fig. 12 F - Sullo schema elettrico si identificano subito, il trasformatore di alimentazione da rete e l'elemento sensibile RT. Il transistore TR 3 è quello di amplificazione finale: ad esso inviano ciascuno un proprio segnale TR 1 e TR 2. A seconda della resistenza interna del rivelatore (RT) può essere necessario mutare il valore di R1 al fine di avere i 34 volt nel punto indicato (dopo D4). In pratica detto valore va diminuito per tensioni più basse e viceversa.

La presenza di un allarme in questo caso è utile per mettere sull'avviso chi arriva dall'esterno. Naturalmente è essenziale che l'allarme possa funzionare senza produrre pericolose scintille.

L'apparecchio qui descritto fa uso esclusivamente di circuiti allo stato solido, senza relé o campanelli pericolosi per la presenza di contatti meccanici che si aprono e si chiudono, provocando scintille.

Come vedremo ora, il circuito è stato progettato per garantire la sensibilità ottima, ed una buona stabilità nel tempo, senza voler raggiungere sensibilità estreme che rivelerebbero anche le minime fughe che si verificano al momento dell'accensione dei fornelli, oppure per la concentrazione di ossido di carbonio sempre purtroppo presente nell'atmosfera delle città industrializzate.

Il circuito elettrico

L'elemento più importante del circuito del rivelatore di gas è il sensore **RT** (vedi **figura 12 F**).

Tale sensore sfrutta la proprietà di certi semiconduttori di variare la propria resistenza in presenza di determinate sostanze gassose, comprese quelle che prima abbiamo descritte come pericolose.

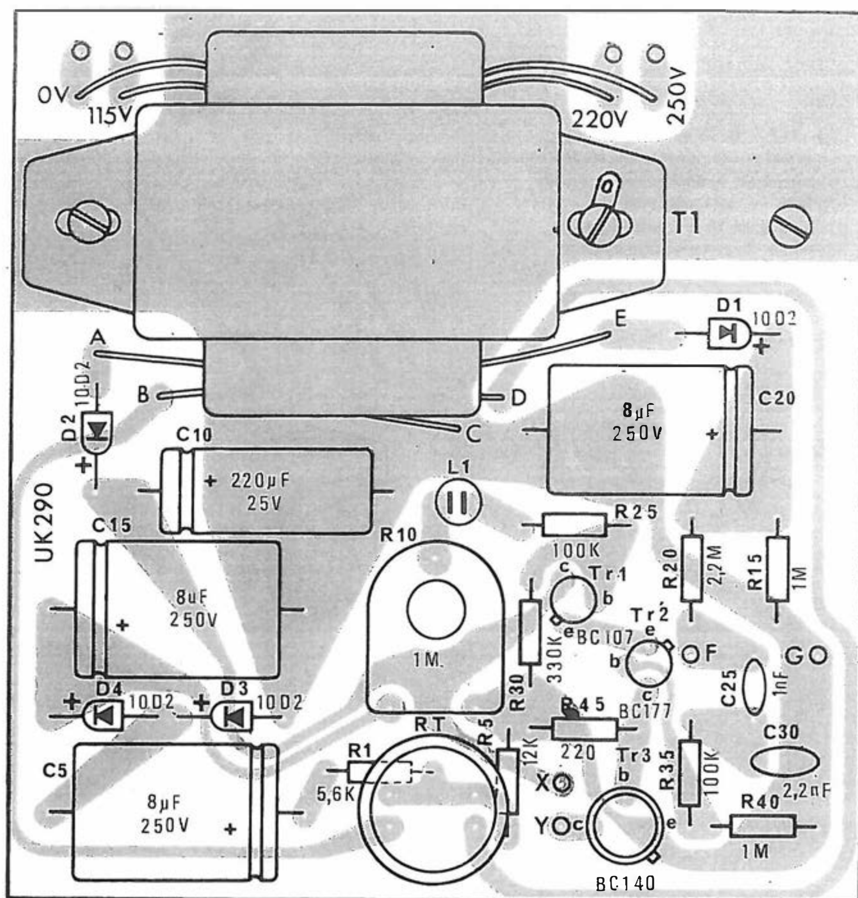
Fondamentalmente il rivelatore di gas consiste in due elettrodi disposti in una massa del particolare semiconduttore.

Una tensione applicata tra questi due elettrodi provocherà il passaggio di una corrente che dipenderà dalla resistenza della massa semiconduttrice, e quindi in definitiva dalla concentrazione del gas nell'ambiente.

La parte sensibile è protetta da una reticella metallica fitta, che permette il passaggio del gas ma resiste agli urti.

Siccome il fenomeno si manifesta in maniera più evidente se la massa di semiconduttore è ad una temperatura piuttosto elevata, i due elet-

Fig. 13 F - La piastra a circuito stampato è pronta (forata) per ricevere i diversi componenti. Su di essa sono stampate le sigle e tutte le altre indicazioni utili ad una sicura e rapida identificazione e localizzazione. Le norme di montaggio suggeriscono di iniziare le operazioni col collocamento dei componenti più piccoli.



trodi assumono la forma di una spirale riscaldante, in platino, attraverso la quale si fa passare una corrente destinata esclusivamente al riscaldamento della giunzione.

Sia la tensione di riscaldamento che la tensione ai capi della resistenza variabile sono di tipo alternativo, in quanto non è necessario alimentare il sensore con corrente continua.

La corrente che passa attraverso il sensore, che dipende, ricordiamolo, dalla concentrazione di gas, sviluppa una tensione ai capi della resistenza di carico del sensore R5, tensione che viene usata per pilotare il circuito di allarme.

Siccome dobbiamo pilotare dei transistori, bisognerà raddrizzare la tensione alternata che troveremo ai capi della resistenza R5. Tale compito è svolto dai due diodi D3 e D4 ai quali la tensione arriva attraverso il condensatore C5.

I diodi sono montati in un circuito duplicatore, che fornisce all'uscita una tensione continua di valore doppio del valore di picco.

Una quota parte di questa tensione si preleva al cursore del potenziometro R10 che serve a regolare il valore della soglia d'intervento del dispositivo.

Il segnale d'ingresso pilota la base di TR1 attraverso la lampada al neon L1 e il resistore R25.

La funzione della lampada al neon è quella di non permettere l'entrata in funzione dell'allarme prima che il segnale abbia raggiunto un livello sufficiente ad azionare l'amplificatore al suo punto di massima efficienza acustica, impedendo il funzionamento a bassi livelli sonori.

Siccome la tensione di pilotaggio non è sufficiente da sola a portare in conduzione la lampada al neon, su questa è stata prevista una tensione di polarizzazione fissa fornita dal trasformatore di alimentazione T1 e raddrizzata dal diodo D1. Il livellamento è attuato dal condensatore C20.

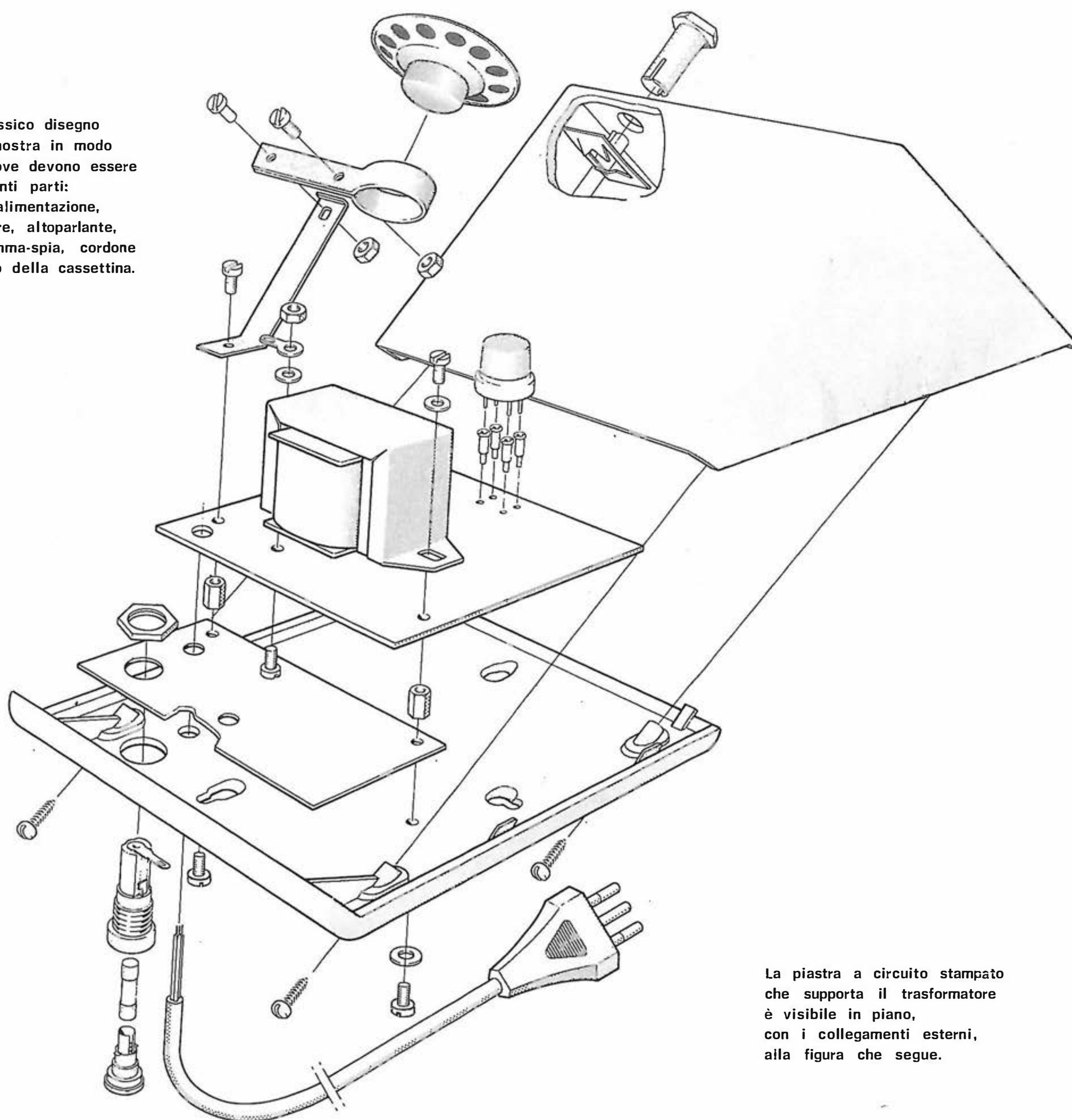
TR1 è alimentato da una presa del trasformatore di alimentazione, la cui tensione, raddrizzata da D2 e livellata in modo parziale da C10, è applicata ai capi del gruppo complementare formato da TR1 e TR2.

Il compito di TR1 è, come abbiamo già visto, quello di amplificare il segnale del rivelatore di gas. Il compito di TR2 è invece quello di modulare questo segnale ad una frequenza acustica. La mescolanza dei due segnali, ulteriormente amplificata da TR3, azionerà l'altoparlante.

Una ulteriore modulazione del tipo pulsante sarà dovuta all'imperfetto livellamento della tensione di alimentazione. Il risultato sarà un suono stridulo molto ben percepibile dall'ascoltatore.

Per la generazione del segnale acustico necessario per la modulazione, si fa ancora uso delle proprietà delle lampade al neon. Questo tipo di lampada si accende, lasciando passare una corrente, solo se la tensione ai suoi capi supera un determinato valore. Al di sotto di que-

Fig. 14 F - Il classico disegno « esploso » che mostra in modo chiaro come e dove devono essere montate le seguenti parti: trasformatore di alimentazione, elemento rivelatore, altoparlante, portafusibile, gemma-spia, cordone di rete e fondello della cassettina.



La piastra a circuito stampato che supporta il trasformatore è visibile in piano, con i collegamenti esterni, alla figura che segue.

sta tensione non si ha passaggio di corrente.

All'inizio del ciclo di funzionamento, la tensione che arriva alla lampada L2 attraverso il resistore R20, subisce una forte caduta dovuta al fatto che si caricano i due condensatori in serie C25 e C30.

Procedendo nella carica i condensatori assorbono sempre meno corrente, provocando su R20 una caduta sempre minore. Ad un certo punto la caduta sarà talmente diminuita da raggiungere il livello di accensione della lampada L2

La corrente che cosi verrà a passare attraverso la lampada provocherà la graduale scarica dei condensatori, fino al punto che la tensione scenderà ad un valore che non permette più il mantenimento dell'accensione di L2.

Notare che la corrente della lampada attraverso R20 provoca una caduta tale che, senza i condensatori, la lampada non potrebbe rimanere accesa. La tensione di innesco è inoltre superiore a quella di disinnesco.

Una volta spenta la lampada, il ciclo riprende indefinitamente con una frequenza di ripetizione dipendente dal valore della capacità totale e dai valori resistivi presenti in circuito, determinati dalla resistenza della lampada accesa e dalla serie di R35 ed R40.

Attraverso la resistenza R35 il segnale a frequenza acustica viene applicato alla base di TR2 che varia la sua resistenza tra collettore ed emettitore in maniera proporzionale al segnale presente in base.

La resistenza così variabile opposta al passaggio della corrente di collettore di TR1, provoca in definitiva la modulazione del segnale di allarme alla frequenza dell'oscillatore al neon.

Siccome TR1 è un transistore « npn » e TR2 è un transistore « pnp », si rispettano le polarità agli elettrodi dei transistori senza ricorrere ad una doppia alimentazione.

L'altoparlante AP costituisce il carico dove la corrente modulata ulteriormente amplificata da TR3, si trasforma in segnale acustico percepibile dall'orecchio.

L'alimentazione avviene dalla rete per mezzo del trasformatore T1 che fornisce al suo secondario tutte le varie tensioni necessarie al funzionamento del circuito. Il primario può essere alimentato a tensioni di 115, 220 e 250 V, selezionabili.

Un opportuno fusibile protegge il circuito da qualsiasi difetto possa manifestarsi.

Le due sezioni di potenza e di pilotaggio hanno l'alimentazione in opposizione di fase, per diminuire l'effetto di pulsazione del segnale acustico dovuto all'imperfetto livellamento. Infatti, il complesso formato da D1 e da D2 si comporta come un raddrizzatore ad onda intera, pur essendo le due semionde raddrizzate applicate in punti diversi del circuito. L'effetto sull'uscita dell'ondulazione residua è quello di due segnali in opposizione di fase e quindi sottraentisi a vicenda.

Anche tutta la descrizione che precede potrà essere meglio compresa allorché gli argomenti, tensione alternata, raddrizzamento, transistori, ecc. saranno stati seguiti nelle future lezioni.

L'assemblaggio

Tutta l'apparecchiatura è disposta entro un unico contenitore in plastica di aspetto elegante, adatto ad essere appoggiato su un piano oppure ad essere appeso ad una parete.

Il circuito, complessivo del rivelatore, dell'alimentazione e dell'altoparlante, è montato su circuito stampato (**figura 13 F**).

L'unico collegamento con l'esterno è costituito dal cordone di alimentazione dalla rete.

Per la disposizione del rivelatore di gas entro un locale bisogna tener conto del fatto che il gas di città tende a salire verso l'alto mentre invece il gas di petrolio liquefatto tende a scendere verso il basso.

Il montaggio

Il montaggio ha inizio col collocamento dei componenti sul circuito stampato. Per dare una precisa idea di come si presenta l'apparecchio riportiamo le illustrazioni che accompagnano il « kit ». È sulla loro scorta che il lavoro di esecuzione viene svolto, operazione per operazione, secondo un dettagliato elenco (**figure 14-15-16 F**).

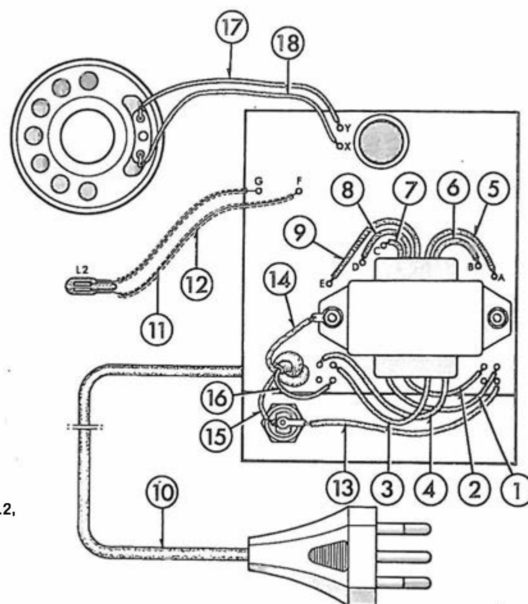


Fig. 15 F - Il disegno indica i collegamenti da eseguire per completare l'apparecchio, vale a dire quelli che non sono compresi nel circuito stampato. Si notino i componenti liberi (altoparlante, lampadina al neon L2, ed il cavo rete). I componenti qui non raffigurati sono quelli montati secondo la figura di pagina 13 f.

Il collaudo

Ruotare il « trimmer » della sensibilità in senso antiorario agendo con un cacciavite attraverso il foro praticato sul fondello.

Alimentare l'apparecchio attraverso la rete elettrica e verificare che si accenda la lampada L2.

La lampada indica che l'oscillatore acustico è in funzione. Tale oscillatore non smette mai di funzionare, anche se il rivelatore non sente la presenza di gas. Per questo la lampada L2 serve anche come spia di rete.

L'elemento sensibile ha bisogno di un certo tempo per raggiungere la sua temperatura di regime. Bisogna quindi lasciare l'apparecchio connesso alla rete per 3-4 minuti prima di procedere con l'operazione di regolazione.

Passato questo tempo ruotare lentamente, facendo uso di un cacciavite con manico isolato, il potenziometro in senso orario fino alla sensibilità desiderata.

Ora si può procedere alla prova conclusiva.

Avvicinare alle feritoie del mobiletto una sorgente qualsiasi di gas. Quasi subito l'allarme deve suonare.

Allontanando la sorgente del gas, l'avvisatore continuerà a suonare per un certo periodo in quanto in vicinanza dell'elemento sensibile la concentrazione di gas è ancora alta. Infatti, provocando una certa ventilazione con una mano il tempo di persistenza del segnale si ridurrà sensibilmente.

Una volta fissato il dispositivo in un punto nel quale si prevede che il gas raggiungerà in

breve tempo la concentrazione necessaria all'intervento dell'allarme, converrà fare una prova generale, adottando naturalmente tutte le precauzioni del caso. Aprire quindi il rubinetto di un fornello e controllare dopo quanto tempo si ha l'intervento.

Tale prova è forse un poco delicata, ma è l'unica che possa dare la garanzia di essere effettivamente protetti.

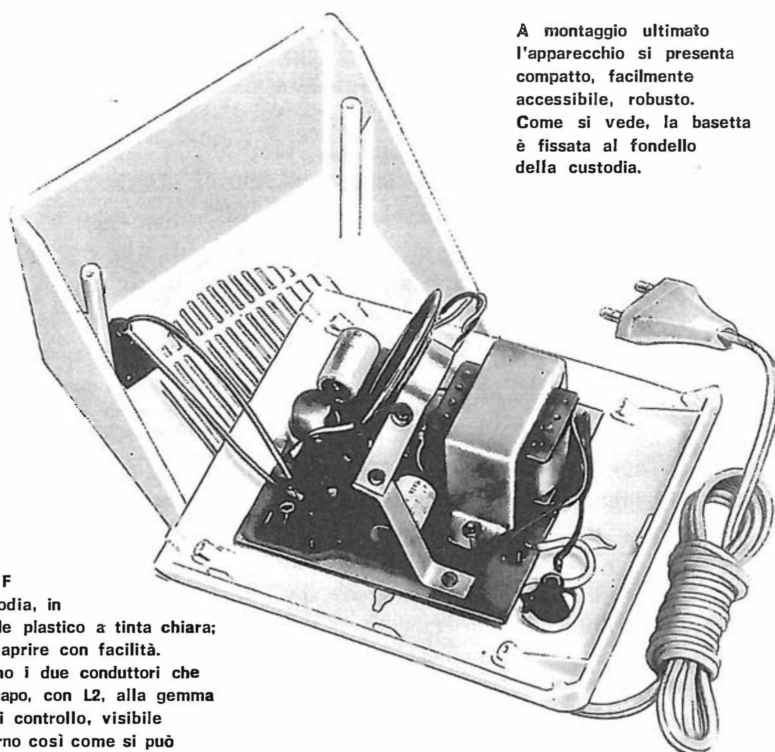
Se la prova si fa con gas di città, evitare di inalare a lungo il gas.

Se invece la prova si fa con il gas di petrolio liquefatto, bisogna far attenzione alle fiamme o a scintille.

In ogni modo arieggiare l'ambiente immediatamente dopo constatato l'intervento dell'allarme.

Se si percepisce l'odore di gas prima del suono dell'avvisatore, bisogna cambiare il posto in cui l'allarme deve essere piazzato.

In linea generale tenere conto che il gas di città tende a salire verso il soffitto, essendo più leggero dell'aria, mentre viceversa il GPL tende a scendere verso il pavimento.



A montaggio ultimato l'apparecchio si presenta compatto, facilmente accessibile, robusto. Come si vede, la basetta è fissata al fondello della custodia.

Fig. 16 F
La custodia, in materiale plastico a tinta chiara; si può aprire con facilità. Si notino i due conduttori che fanno capo, con L2, alla gemma rossa di controllo, visibile all'esterno così come si può osservare a pagina 10 f.

Circuiti elettrici complessi

Col nome di circuiti complessi abbiamo detto che intendiamo definire quei circuiti che non sono semplici disposizioni di elementi in serie o in parallelo, bensì una combinazione dei due tipi. Tale combinazione può essere la risultante di pochi come di molti elementi variamente disposti e, in quest'ultimo caso le risoluzioni possono diventare alquanto difficili.

Procediamo intanto per gradi e torniamo all'esame di un altro circuito misto, dopo un primo circuito del genere già visto a pagina 18 d in figura 22 D.

Esso è riportato alla **figura 17 F**; occorre determinare a quale valore finale di resistenza esso equivale, e per far ciò questa volta, a differenza del procedimento seguito nell'esempio precedente, analizziamo il circuito, seguendo la corrente nel suo percorso.

Questa procedura ci consente di renderci meglio conto del comportamento del circuito stesso e dei suoi elementi in presenza appunto della corrente.

La corrente di linea esce dal terminale negativo della batteria ed arriva al nodo « A » attraverso la resistenza R_1. Da questo punto percorre due strade, una delle quali la riconduce al polo positivo della batteria attraverso R_2.

Si noti che la corrente non attraversa R_3 da sinistra a destra poiché, per tornare alla sorgente, essa sceglie la strada di minore resistenza che è il collegamento centrale.

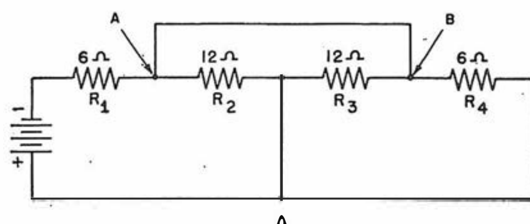
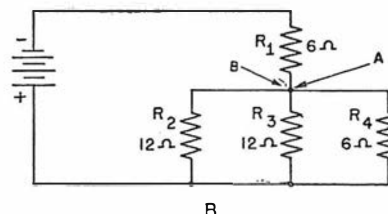


Fig. 17 F - Circuito misto. La corrente, per tornare da A alla batteria, percorre due strade: una attraverso R_2 ed una tramite R_3 ed R_4.

Nel secondo percorso si osserva anzitutto che « B » è allo stesso potenziale relativo di « A ».

La corrente si divide in « B »: una parte di essa va attraverso R_3 (da destra a sinistra) e torna alla sorgente per la linea centrale, e l'altra parte, attraverso R_4 torna anch'essa al terminale positivo della batteria.



Questo circuito equivale a quello di figura 17 F. R_2, R_3 ed R_4 in parallelo tra loro formano 3 ohm (12 ohm con 12 ohm = 6 ohm, che con 6 ohm = 3 ohm). R_1, in serie ai 3 ohm, porta a 9 ohm la resistenza totale.

Con la sezione **B** della figura — che rappresenta lo stesso schema ridisegnato opportunamente — si può determinare rapidamente la resistenza equivalente del circuito, che risulta essere di 9 ohm.

Prima di inoltrarci nell'esame di altri circuiti misti maggiormente complessi, è opportuno ven-

gano nuovamente visti diversi concetti, alcuni dei quali già incontrati e citati, che qui raggruppiamo ed esponiamo ancora: è bene averli presente in quanto su di essi si basa gran parte dell'analisi che segue.

Si tratta in sostanza delle leggi di Ohm applicate ai circuiti complessi per poterne effettuare le risoluzioni: tali leggi che si riferiscono tanto alla tensione che alla corrente prendono il nome di **leggi di Kirchhoff.**

Le leggi di Kirchhoff

Se ogni resistenza del circuito della **figura 18 F** ha il medesimo valore, la tensione di alimentazione si divide in parti eguali tra loro, e la caduta di tensione è di 2 volt ai capi di ognuna di esse.

Ciò illustra appunto una delle leggi di G.R. Kirchhoff, un fisico tedesco che applicò, come abbiamo testè detto, i princìpi della legge di Ohm a circuiti più complessi.

La legge di cui sopra stabilisce che **la somma algebrica delle tensioni presenti ai capi di ogni circuito chiuso, in un circuito complesso, equivale a zero.**

Se iniziamo dal punto « A » della figura 18 F e procediamo in senso antiorario, indicando le tensioni con la lettera **E**, ne ricaviamo che:

$$+6 - E1 - E2 - E3 = 0$$

ossia

$$+6 - 2 - 2 - 2 = 0$$

Un'altra delle leggi di Kirchhoff si riferisce ai circuiti in parallelo e stabilisce che: **la somma di tutte le correnti che scorrono in direzione di un punto d'unione di due circuiti è eguale alla somma delle correnti che ne escono.**

Tale legge è illustrata nel circuito del tipo in parallelo della **figura 19 F.**

Seguendo il passaggio della corrente che parte dal terminale negativo della batteria, vediamo che essa ammonta complessivamente a 2 ampère; al primo punto d'unione o giunzione, la corrente si divide, e scorre 1 ampère attraverso ognuna delle resistenze.

Al lato terminale positivo delle resistenze i due rami si riuniscono e una corrente di 2 ampère è nuovamente quella che va alla sorgente di energia.

Quando la corrente percorre un circuito in serie, la tensione di alimentazione è applicata ad un circolo chiuso, il che si verifica anche per il circuito in parallelo, sebbene, come si vede in figura 19 F, vi siano tre circoli chiusi in un circuito a due vie.

Il primo inizia nel punto « A », attraversa una resistenza, e ritorna al medesimo punto « A » attraverso la batteria il secondo è analogo al precedente ma attraversa la seconda resistenza.

Poiché infine, la legge di Kirchhoff relativa alla tensione non implica la necessaria presenza della sorgente di energia nel circolo, si può considerare come terzo quello che, partendo dal punto « A », vi ritorna attraverso la prima resistenza, il punto di unione con la seconda, e attraverso quest'ultima.

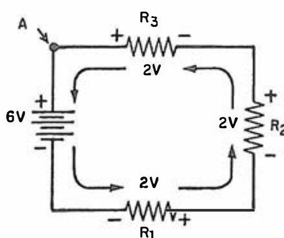


Fig. 18 F - Supposto $R_1 = R_2 = R_3$ si hanno eguali cadute di tensione. La somma algebrica delle tensioni di un circuito chiuso equivale sempre a zero, secondo una delle leggi di Kirchhoff.

Dalla legge di Ohm (**E** = **IR**), si deduce che ai capi di ognuna delle resistenze vi è una caduta di 6 volt e, seguendo i primi due circuiti, si applica la legge di Kirchhoff sulla tensione.

Vediamo ora se la somma algebrica delle due cadute di tensione del terzo circuito equivale a zero.

Partendo da « A », attraverso una delle resistenze da 6 ohm, si trova una caduta di tensione di —6 volt. Continuando attraverso la seconda resistenza a destra, si risale la corrente, e quindi la caduta di +6 volt.

$$-6 \text{ volt} +6 \text{ volt} = 0$$

Anche la legge di Kirchhoff sulla corrente è illustrata dalla figura 19 F.

Si nota infatti che 2 ampère escono dalla sorgente e si suddividono in due strade all'altezza del nodo, in modo che 1 ampère scorre in ognuna; quindi, all'uscita della giunzione, abbiamo la medesima corrente (2 ampère) che avevamo in entrata della stessa, come enunciato sopra dalla legge.

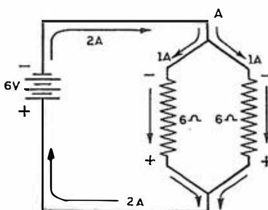


Fig. 19 F - Questa figura, oltre alla già citata legge di Kirchhoff sulla tensione, illustra una seconda legge dello stesso nome, quella relativa alle correnti: la somma delle correnti che entrano in A è eguale alla somma delle correnti che escono da B.

Altri circuiti misti

Passeremo ora all'esame di altri circuiti misti, e precisamente di quelli che, in pratica, assumono una definita denominazione derivante dalla loro struttura. Essi, per questo fatto, possono essere rapidamente individuati e, se è il caso, analizzati come un tutto a se stante.

Nel caso di cui sopra spesso il circuito assume il nome della funzione che generalmente è destinato a svolgere: è così che avremo « divisori di tensione », « attenuatori », « ponti », ecc.

Occorre avvertire che il nostro esame si riferisce qui sempre a circuiti con soli elementi resistivi, mentre in seguito vedremo anche circuiti assai più complessi, formati da altri componenti oltre che dalle resistenze.

Partitori di tensione

Un tipico divisore di tensione, o partitore, può consistere in una serie di resistenze aventi due terminali di entrata, ai quali viene applicata la tensione totale della sorgente, e due o più terminali di uscita, ai capi dei quali si ottiene — così come dice il nome del dispositivo — la frazione desiderata della tensione totale stessa.

I divisori di tensione vengono frequentemente usati all'uscita degli alimentatori allo scopo di disporre di varie tensioni; i valori di resistenza da impiegare vengono determinati me-

diante l'applicazione delle leggi di Ohm e di Kirchhoff.

La **figura 20 F** illustra un esempio di partitore, collegato ai capi di una sorgente di tensione di 270 volt.

Come si vede, esso alimenta contemporaneamente tre circuiti di carico, e precisamente 10 mA con 90 volt tra i terminali 1 e quello di massa; 5 mA con 150 volt tra il terminale 2 e massa: 30 mA con 180 volt tra il terminale 3 e massa. La corrente che percorre la resistenza « A » è di 15 mA.

Ecco come possiamo determinare la corrente, la tensione, la resistenza e la potenza relative alle quattro resistenze.

Dall'applicazione della legge di Kirchhoff al terminale 1 si ricava che la corrente nella resistenza « B » equivale alla somma della corrente presente nella resistenza « A » (15 mA) con quella di 10 mA che scorre attraverso il carico di 90 volt, per cui:

$$I_b = 15 + 10 = 25 \text{ milliampère}$$

Analogamente:

$$I_c = 25 + 5 = 30 \text{ milliampère}$$

e:

$$I_d = 30 + 30 = 60 \text{ milliampère}$$

La legge di Kirchhoff indica che la tensione ai capi della resistenza « A » è di 90 volt; la tensione ai capi di « B » è invece:

$$E_b = 150 - 90 = 60 \text{ volt}$$

La tensione ai capi di « C » è:

$$E_c = 180 - 150 = 30 \text{ volt,}$$

e la tensione ai capi di « D » è:

$$E_d = 270 - 180 = 90 \text{ volt.}$$

Prima di calcolare i valori delle varie resistenze è necessario ricordare ancora che nella nota formula della legge di Ohm, **R = E : I**, **R** indica la resistenza in ohm se **E** indica la tensione in volt ed **I** la corrente in ampère.

In molti circuiti elettronici — e particolarmente in quelli in questione — è molto più semplice considerare **R** in migliaia di ohm (kohm), **E** in volt, ed **I** in milliampère, per cui nelle formule seguenti osserveremo tale convenzione.

Applicando la legge di Ohm per determinare le resistenze, si ha:

La resistenza di « A » è:

$$R_a = \frac{E_a}{I_a} = \frac{90}{15} = 6 \text{ kohm}$$

La resistenza di « B » è:

$$R_b = \frac{E_b}{I_b} = \frac{60}{25} = 2{,}5 \text{ kohm}$$

La resistenza di « C » è:

$$R_c = \frac{E_c}{I_c} = \frac{30}{30} = 1 \text{ kohm}$$

La resistenza di « D » è:

$$R_d = \frac{E_d}{I_d} = \frac{90}{60} = 1{,}5 \text{ kohm}$$

Torniamo ora a considerare **I** in ampère. La potenza dissipata dalla

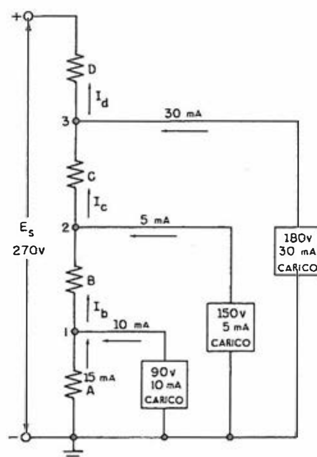


Fig. 20 F - Esempio di partitore che alimenta contemporaneamente tre circuiti. Con le leggi di Kirchhoff e di Ohm, si possono determinare: la corrente, la tensione, la resistenza e la potenza relative alle 4 resistenze del partitore stesso.

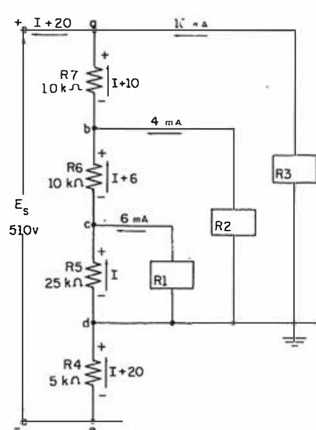


Fig. 21 F - In questo partitore, noto il valore delle resistenze e della corrente dei 3 carichi, si deve calcolare la corrente che scorre in R_5. Si applicherà la legge di Kirchhoff sulla corrente per trovare i valori di corrente di R_4, R_5, R_6, ed R_7. Si può applicare anche la legge di Kirchhoff sulla tensione per risolvere rispetto alla corrente incognita I. Si noti che, rispetto al punto comune dei tre carichi (massa), si ha a disposizione in e, una tensione negativa.

resistenza «A» è: $P_a = E_a I_a = 90 \times 0{,}015 = 1{,}35$ watt
resistenza «B» è: $P_b = E_b I_b = 60 \times 0{,}025 = 1{,}50$ watt
resistenza «C» è: $P_c = E_c I_c = 30 \times 0{,}030 = 0{,}90$ watt
resistenza «D» è: $P_d = E_d I_d = 90 \times 0{,}060 = 5{,}40$ watt

La potenza dissipata dal carico collegato al
terminale 1 è: $P_1 = E_1 I_1 = 90 \times 0{,}010 = 0{,}90$ watt
terminale 2 è: $P_2 = E_2 I_2 = 150 \times 0{,}005 = 0{,}75$ watt
terminale 3 è: $P_3 = E_3 I_3 = 180 \times 0{,}030 = 5{,}4$ watt

La potenza totale dissipata dai tre circuiti di carico è:

$$0{,}90 + 0{,}75 + 5{,}4 = 7{,}05 \text{ watt}$$

La potenza totale fornita all'intero circuito comprendente il partitore ed i tre carichi è:

$$9{,}15 + 7{,}05 = 16{,}2 \text{ watt}$$

Tale valore può essere controllato come segue:

$$P_T = E \times I_T = 270 \times 0{,}060 = 16{,}2 \text{ watt}$$

Nella **figura 21 F** le resistenze del divisore di tensione sono note e si deve invece calcolare la corrente che scorre in R_5.

La corrente di carico attraverso R_1 è di 6 mA, la corrente attraverso R_2 è di 4 mA, e la corrente attraverso R_3 è di 10 mA; la tensione totale di alimentazione ammonta a 510 volt.

La legge di Kirchhoff sulla corrente può essere applicata alle giunzioni « a », « b », « c » e « d » onde determinare le equazioni necessarie per esprimere la corrente che scorre attraverso R_4, R_5, R_6 ed R_7.

Analogamente, la corrente che scorre attraverso R_4 è data da $I + 6 + 4 + 10$ ossia $I + 20$; la corrente che scorre attraverso R_5 è I; la corrente che scorre attraverso R_6 è $I + 6$ e la corrente che scorre attraverso R_7 è $I + 6 + 4$, ossia $I + 10$.

La tensione presente ai capi di R_4 può essere espressa in funzione della resistenza in kohm e della corrente in mA, ossia 5 $(I + 20)$ volt.

Analogamente, la tensione presente ai capi di R_5 equivale a $25 \times I$; la tensione presente ai capi di R_6 è $10\ (I + 6)$ e la tensione presente ai capi di R_7 è $10\ (I + 10)$.

La legge di Kirchhoff sulla tensione può essere applicata al partitore di tensione per risolvere rispetto alla corrente incognita **I**, esprimendo la tensione della sorgente in funzione dei valori dati di tensione, di resistenza e di corrente (sia dei valori noti che di quelli incogniti).

La somma delle tensioni presenti ai capi di R_4, R_5, R_6 ed R_7 equivale alla tensione totale, ossia:

$$E_4 + E_5 + E_6 + E_7 = E_S$$
$$5\ (I + 20) + 25\ I + 10\ (I + 6) + 10\ (I + 10) = 510$$
$$50\ (I) = 250$$
$$I = 5 \text{ milliampère.}$$

La corrente di 5 mA che scorre attraverso R_5 produce ai suoi capi una caduta di tensione pari a 5×25, ossia 125 volt.

Dal momento che R_1 è in parallelo ad R_5, anche la tensione presente ai capi di R_1 è di

125 volt. La corrente che percorre R_4 è pari a 5 + 20 ossia 25 mA, e la caduta di tensione corrispondente è pari a 5 × 25, cioè 125 volt.

Dal momento che il punto « d » è a potenziale di massa, il punto « c » è di 125 volt positivo rispetto a « d », mentre il punto « e » è di 125 volt negativo rispetto al medesimo punto.

La corrente che percorre R_6 ammonta a 5 + 6 ossia a 11 mA, e la caduta di tensione presente ai suoi capi è di 11 × 10, vale a dire 110 volt.

La corrente che percorre R_7 è pari a 5 + 10 (15 mA) e la relativa caduta di tensione è pari a 15 × 10, ossia 150 volt.

Per concludere, la tensione totale equivale alla somma delle tensioni presenti ai capi dei vari tratti del partitore, per cui:

$$125 + 125 + 110 + 150 = 510 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da ogni resistenza di tale partitore può essere calcolata moltiplicando la tensione presente ai capi di ogni resistenza per la corrente che la percorre; se la corrente è espressa in ampère, e la f.e.m. in volt, la potenza risulterà espressa in watt, per cui la potenza dissipata da R_4 sarà:

$$P_4 = E_4 \times I_4 = 125 \times 0{,}025 = 3{,}125 \text{ watt}$$

Analogamente, la potenza dissipata da R_5 è:

$$125 \times 0{,}005 = 0{,}625 \text{ watt}$$

quella dissipata da R_6 è:

$$110 \times 0{,}011 = 1{,}21 \text{ watt}$$

ed infine, quella dissipata da R_7 è:

$$150 \times 0{,}015 = 2{,}25 \text{ watt.}$$

La potenza totale dissipata dall'intero partitore è:

$$3{,}125 + 0{,}625 + 1{,}21 + 2{,}25 = 7{,}21 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_1 è la tensione presente ai capi di R_5, ossia 125 volt. La potenza dissipata da R_1 è:

$$P_1 = E_1 \times I_1 = 125 \times 0{,}006 = 0{,}750 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_2 è eguale alla somma delle tensioni presenti ai capi di R_5 ed R_6, ossia:

$$E_2 = E_5 + E_6 = 125 + 110 = 235 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da R_2 è:

$$P_2 = E_2 \times I_2 = 235 \times 0{,}004 = 0{,}940 \text{ watt}$$

La tensione presente ai capi del carico R_3 è eguale alla somma delle tensioni presenti ai capi di R_5, R_6, R_7, ossia:

$$E_3 = E_5 + E_6 + E_7 = 125 + 110 + 150 = 385 \text{ volt}$$

La potenza dissipata da R_3 è:

$$P_3 = E_3 \times I_3 = 385 \times 0{,}010 = 3{,}85 \text{ watt}$$

e la potenza totale dissipata dai tre carichi è:

$$0{,}75 + 0{,}94 + 3{,}85 = 5{,}54 \text{ watt}$$

La potenza totale fornita dalla sorgente corrisponde alla somma delle potenze totali assorbite dal divisore e dai tre carichi, ossia:

$$7{,}21 + 5{,}54 = 12{,}75 \text{ watt}$$

Tale risultato può essere verificato nel modo seguente:

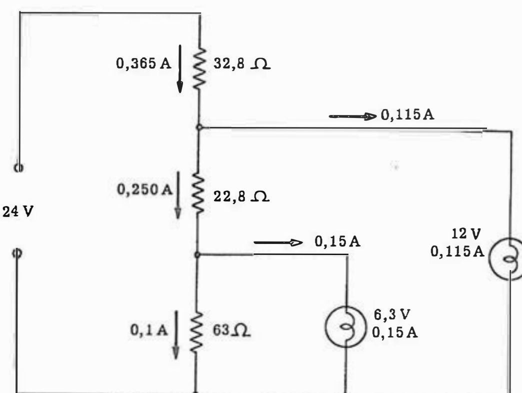


Fig. 22 F - Esempio pratico di divisore di tensione con carico. Partendo da un medesimo valore di tensione (24 V), si tratta di alimentare correttamente due lampadine di caratteristiche diverse, assumendo a priori che la corrente consumata dalla terza resistenza del partitore sia di 0,1 A.

$$P_T = E_T I_T = 510 \times 0{,}025 = 12{,}75 \text{ watt}$$

Il valore delle resistenze di carico R_1, R_2 ed R_3 può essere determinato mediante la legge di Ohm, nel modo seguente:

$$R_1 = \frac{E_1}{I_1} = \frac{125}{6} = 20{,}83 \text{ kohm}$$

$$R_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{235}{4} = 58{,}75 \text{ khom}$$

$$R_3 = \frac{E_3}{I_3} = \frac{385}{10} = 38{,}5 \text{ kohm}$$

La **figura 22 F** illustra un esempio di applicazione pratica di divisore di tensione. Vengono alimentate due lampadine di caratteristiche elettriche diverse partendo da un unico valore di tensione (e quindi, da un alimentatore unico, cioè in comune).

Attenuatori

Gli attenuatori sono dispositivi costituiti da resistenze, con il compito di ridurre (attenuare) la tensione, la corrente o la potenza fornita ad un carico.

I due tipi di attenuatori più comuni sono quelli denominati ad « L » ed a « T »; essi sono rappresentati rispettivamente dalla **figura 23 F** e **24 F.**

Se un tale dispositivo è regolabile — come è nel nostro caso — viene detto appunto attenuatore; se invece è fisso, prende più correntemente il nome di « riduttore ».

Il tipo ad « L » mantiene costante la resistenza ai capi di **una** coppia di terminali, per qualsiasi posizione delle resistenze variabili: ad esempio, nella figura 23 F la resistenza offerta dal carico e dall'attenuatore ai terminali « a » « b » rimane costante per qualsiasi posizione delle resistenze variabili R_1 ed R_2.

In questo caso, tenendo presente che R_S non è un componente effettivo dell'attenuatore, bensì rappresenta simbolicamente la resistenza interna della batteria, la resistenza offerta al passaggio della corrente misurata tra il punto « a »

ed il punto « b », comprende R_S ed R_1 in serie tra loro, ed a loro volta in parallelo alla combinazione del carico in parallelo ad R_2.

In detto circuito R_S è eguale ad R_L, e:

$$R_S = R_1 + \frac{R_2 \times R_L}{R_2 + R_L}$$

La resistenza offerta al passaggio della corrente dal terminale « c » al terminale « d » comprende R_2 in parallelo alla combinazione in serie di R_1 ed R_S, ed R_L.

L'attenuatore ad « L » funziona correttamente soltanto se il carico è collegato ai terminali « c » e « d », e la sorgente ai terminali « a » e « b ». Ne consegue che il carico e la sorgente non sono intercambiabili in quanto R_L non è eguale a:

$$\frac{R_2 (R_1 + R_S)}{R_2 + R_1 + R_S}$$

La figura 24 F illustra, come si è detto, un attenuatore del tipo a « T ».

Esso mantiene la resistenza costante ad **entrambe** le coppie di terminali, per qualsiasi posizione delle resistenze variabili. Come si può notare osservando la figura, in questo tipo è necessario l'impiego di un'altra resistenza variabile per cui il circuito è più complesso di quello dell'attenuatore ad « L ».

La resistenza offerta al passaggio della corrente tra i punti « a » e « b » comprende R_S ed R_1 in serie tra loro ed a loro volta in parallelo alla combinazione (anch'essa in parallelo) costituita da due rami, di cui uno è rappresentato da R_2, e l'altro da R_3 in serie ad R_L.

In questo circuito si ha che:

$$R_S = R_1 + \frac{R_2 (R_3 + R_L)}{R_2 + R_1 + R_L}$$

La resistenza offerta al passaggio della corrente tra i terminali « e » ed « f » comprende R_3 in serie alla combinazione parallelo i cui rami sono R_2 da un lato, ed R_1 in serie ad R_S ed R_L dall'altro, per cui si ha:

$$R_L = R_3 + \frac{R_2 (R_1 + R_S)}{R_2 + R_1 + R_3}$$

Dal momento che $R_S = R_L$ e che $R_1 = R_3$, il carico e la sorgente sono intercambiabili senza che tale mutamento alteri il funzionamento dell'attenuatore a « T ».

Come si è detto, la resistenza presente tra i terminali « a » e « b » è eguale a quella presente tra i terminali « e » ed « f ».

Esistono altri tipi di attenuatori più complessi, come ad esempio il tipo detto a « scala » in quanto in effetti richiama alla memoria proprio l'idea della scala a pioli; l'attenuatore « ponte a T », nel quale due resistenze che costituiscono la parte superiore della lettera T sono in parallelo ad un'altra resistenza, ed infine gli attenuatori « a decadi », nei quali la sistemazione delle resistenze componenti è realizzata in modo tale che la tensione o la corrente della sorgente può essere ridotta o attenuata di frazioni decimali del valore massimo.

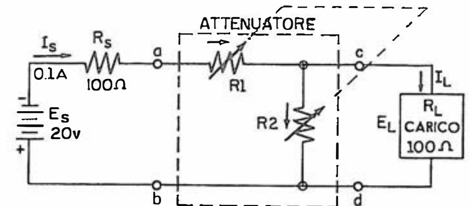
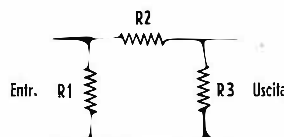
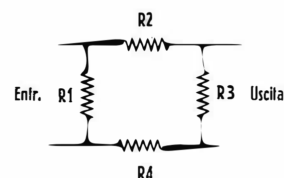


Fig. 23 F - Attenuatore ad « L ». La sua caratteristica è di mantenere costante il valore della resistenza ai capi di una coppia di terminali, e precisamente ai capi a e b, qualunque sia la regolazione di R_1 ed R_2. Carico e sorgente non possono essere invertiti tra loro.

Spesso — ed in modo speciale nei circuiti degli apparecchi professionali per radiocomunicazioni — è necessario attenuare una tensione applicata ad un carico onde attenuare di conseguenza il segnale, pur lasciando inalterata la quantità di corrente prelevata dalla sorgente prima che la tensione venisse attenuata. In tal modo il carico applicato a detta sorgente resta costante, e le caratteristiche del circuito restano eguali pur riducendo l'ampiezza del segnale inoltrato al resto del circuito. L'attenuatore del tipo ad « L » è il più semplice col quale sia possibile ottenere quanto sopra.



Attenuatore a « pi greco », detto simmetrico quando $R_1 = R_3$.



Attenuatore ad « O », detto simmetrico quando $R_1 = R_3$ ed $R_2 = R_4$.

L'attenuatore ad "L"

Nell'attenuatore ad « L », illustrato dalla figura 23 F le due caratteristiche essenziali sono la possibilità di variare la tensione applicata al carico, e quella di mantenere costante la quantità di corrente che scorre attraverso la sorgente nonostante le variazioni della tensione di uscita.

Nell'esempio della figura, la resistenza della sorgente ammonta a 100 ohm, la resistenza di carico è pure di 100 ohm, e la tensione erogata dalla sorgente è di 20 volt.

Prima che l'attenuatore venga inserito, la corrente fornita al carico è pari a:

$$I_S = \frac{E_S}{R_L + R_S} = \frac{20}{100 + 100} = 0{,}1 \text{ ampère}$$

In questo caso, la tensione applicata al carico è pari a $E_L = I_S R_L = 0{,}1 \times 100 = 10$ volt.

La caduta di tensione nella sorgente stessa è 20 — 10 = 10 volt, il che equivale ad una corrente di 0,1 ampère che scorre attraverso la resistenza interna di 100 ohm.

Per ridurre a 5 volt la tensione presente ai capi di R_L — mantenendo la corrente circolante nella sorgente sempre alla intensità di 0,1 ampère — vengono inserite R_1 ed R_2.

La corrente (I_L) che percorre R_L è:

$$I_L = \frac{E_L}{R_L} = \frac{5}{100} = 0{,}05 \text{ ampère}$$

La corrente che percorre R_1 è di 0,1 ampère, in quanto tale resistenza è in serie alla sorgente, e la caduta di tensione ai suoi capi è la differenza tra la tensione massima di origine e la somma delle cadute di tensione presenti nella sorgente stessa ed ai capi del carico, ossia

$20 - (10 + 5) = 5$ volt.
La resistenza R_1 è $5 : 0{,}1 = 50$ ohm.

La corrente che passa attraverso R_2 è la differenza tra la corrente della sorgente, ossia 0,1 ampère, e la corrente che passa attraverso il carico (0,05 ampère), quindi ha una intensità pari a 0,05 ampère. La tensione presente ai suoi capi ammonta a 5 volt in quanto essa è in parallelo al carico.

Il valore ohmico di R_2 è pari a $5 : 0{,}05 = 100$ ohm.

Ne consegue che, inserendo una resistenza di 50 ohm in serie alla sorgente, ed una di 100 ohm in parallelo al carico, la tensione presente ai capi di quest'ultimo viene ridotta a 5 volt, mentre la corrente totale che circola resta sempre di 0,1 ampère.

In tal modo, mentre la tensione di segnale applicata al carico viene ridotta alla metà del suo valore iniziale, il carico applicato alla sorgente rimane costante.

Il valore totale delle due resistenze in parallelo R_2 ed R_L ammonta a 50 ohm, e il valore totale della resistenza R_1 in serie alla combinazione in parallelo, ammonta a $50 + 50 = 100$ ohm.

Si conferma perciò che dopo l'inserimento di R_1 ed R_2, la resistenza applicata alla sorgente resta la medesima, ossia che il carico applicato è costante.

L'attenuatore a "T"

Nell'attenuatore a « T » illustrato dalla figura 24 F, abbiamo, nell'esempio, $R_S = 600$ ohm, ed una tensione della sorgente di 120 volt.

Nel nostro caso, inoltre, l'attenuatore ha caratteristiche tali da ridurre la tensione applicata al carico alla metà del suo valore originale.

Il problema consiste nel calcolare i valori corrispondenti di R_1, R_2 ed R_3.

Prima che l'attenuatore venga inserito, la corrente del carico equivale a $120 : (600+600) = 0{,}1$ ampère, e la tensione corrispondente del carico, E_L, ammonta a $0{,}1 \times 600 = 60$ volt.

Il compito dell'attenuatore consiste nel ridurre tale tensione alla metà, ossia a 30 volt.

La corrente circolante nel carico, con una tensione di 30 volt, sarebbe $30 : 600 = 0{,}05$ ampère.

Dal momento che la corrente totale deve mantenere il suo valore di 0,1 ampère, la corrente che percorre R_2 deve essere pari a $0{,}1 - 0{,}05 = 0{,}05$ ampère.

La somma algebrica delle tensioni presenti ai capi del circuito « dcefd » è eguale a zero, ed esse possono essere espresse in funzione di corrente, resistenza e tensione, come segue:

$$+ 0{,}05\ R_2 - 0{,}05\ R_3 - 30 = 0$$

e, dal momento che $R_3 = R_1$

$$0{,}05\ R_2 - 0{,}05\ R_1 = 30$$

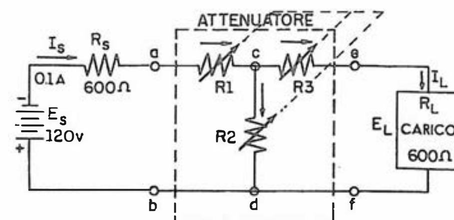


Fig. 24 F - Attenuatore a « T ». Offre la caratteristica di mantenere costante ed eguale il valore di resistenza ai capi di entrambe le coppie dei terminali (a - b ed e - f) per qualunque posizione delle resistenze variabili. Carico e sorgente sono tra loro intercambiabili.

La somma algebrica delle tensioni presenti ai capi del circuito « bacdb » equivale a zero.

Per cui:

$$120 - 0{,}1 \times 600 - 0{,}1\ R_1 - 0{,}05\ R_2 = 0$$
$$0{,}05\ R_2 + 0{,}1\ R_1 = 60$$

Sottraendo la prima equazione dalla seconda, e risolvendo rispetto ad R_1, si ha:

$$\begin{aligned} 0{,}05\ R_2 + 0{,}10\ R_1 &= 60 \\ -0{,}05\ R_2 + 0{,}05\ R_1 &= -30 \\ \hline 0 \quad + 0{,}15\ R_1 &= 30 \end{aligned}$$

da cui:

$$R_1 = \frac{30}{0{,}15} = 200 \text{ ohm} = R_3$$

Sostituendo il valore di R_1 nella prima equazione, si ha:

$$0{,}05\ R_2 - 0{,}05\ (200) = 30$$
$$0{,}05\ R_2 = 40$$

da cui:

$$R_2 = 800 \text{ ohm}$$

La resistenza opposta al passaggio della corrente tra i terminali « a » e « b » comprende la resistenza di 600 ohm della sorgente, e la resistenza dell'attenuatore R_{ab}

$$R_{ab} = R_1 + \frac{R_2\ (R_3 + R_L)}{R_2 + R_3 + R_L}$$
$$= 200 + \frac{800\ (200+600)}{800+200+600}$$
$$= 200 + 400 = 600 \text{ ohm}$$

La resistenza opposta al passaggio della corrente tra i terminali « e » ed « f » comprende la resistenza di 600 ohm del carico, e la resistenza dell'attenuato R_{ef}

$$R_{ef} = R_3 + \frac{R_3\ (R_1 + R_S)}{R_2 + R_1 + R_S}$$
$$= 200 + \frac{800\ (200+600)}{800+200+600}$$
$$= 200 + 400 = 600 \text{ ohm}$$

Per cui $R_{ef} = R_{ab}$ e sia il carico che la sorgente trovano nell'attenuatore la medesima impedenza.

La corrente I_S della sorgente è:

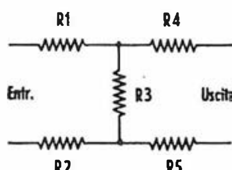
$$\frac{E_S}{R_S + R_{ab}} = \frac{120}{600 + 600} = 0{,}1 \text{ ampère}$$

La tensione di ingresso E_{ab} all'attenuatore è:

$$I_S\ R_{ab} = 0{,}1 \times 600 = 60 \text{ volt}$$

La caduta di tensione ai capi di R_1 è:

$$I_S\ R_1 = 0{,}1 \times 200 = 20 \text{ volt}$$



Attenuatore ad « H »: è un'elaborazione del tipo a « T ». In esso, se necessita la simmetria, $R_1 = R_2 = R_4 = R_5$ e tutte corrispondono a metà valore di $R_1 - R_1$ di figura 24 F.

La caduta di tensione ai capi di R_2 è:

$$I_2 R_2 = 0{,}05 \times 800 = 40 \text{ volt}$$

La caduta di tensione ai capi di R_3 è:

$$I_3 R_3 = 0{,}05 \times 200 = 10 \text{ volt}$$

Per cui la tensione ai capi del carico ammonta a:

$$40 - 10 = 30 \text{ volt}$$

Due sorgenti su carico comune

Il circuito schematizzato in **figura 25 F** rappresenta due sorgenti di forza elettromotrice, E_{S1} ed E_{S2}, dotate rispettivamente di una resistenza interna pari a 2 ed a 2,5 ohm, collegate in parallelo ed alimentanti un carico comune di 5 ohm. Si desidera qui determinare i valori della corrente fornita da ciascuna sorgente al carico suddetto e la corrente totale.

Si procede stabilendo due eguaglianze nelle quali le tensioni vengono espresse in termini di correnti incognite I_1 ed I_2, di resistenze note, e di tensioni note.

Le equazioni saranno quindi risolte simultaneamente come già in esempi precedenti, con lo scopo di eliminare una delle correnti incognite, mentre l'altra corrente incognita viene valutata per sostituzione.

La prima equazione di tensione viene stabilita partendo dal punto « g » ed analizzando il circuito in senso orario, vale a dire toccando successivamente i punti « g a b d e f g ».

La corrente totale che fluisce nel carico è eguale alla somma delle correnti relative alle sorgenti, $I_1 + I_2$.

La prima equazione di tensione è:

$$62 - 2I_1 - 5\,(I_1 + I_2) = 0$$

dalla quale si ottiene:

$$7\,I_1 + 5\,I_2 = 62 \qquad (1)$$

La seconda equazione di tensione viene stabilita partendo dal punto « h » ed analizzando il circuito percorrendo successivamente i punti « h c b d e f h »:

$$60 - 2{,}5\,I_2 - 5\,(I_1 + I_2) = 0$$

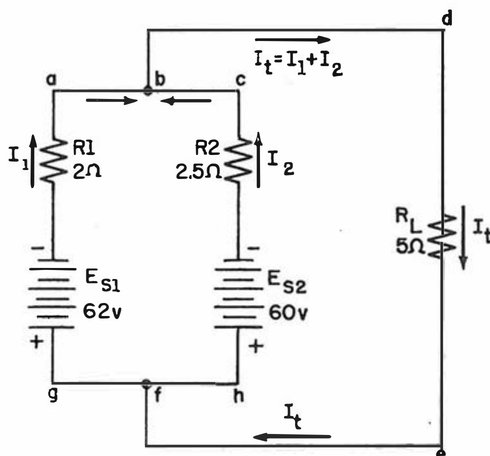


Fig. 25 F - Il circuito complesso raffigurato a lato rappresenta due sorgenti di tensione collegate in parallelo ed alimentanti un carico in comune. Risolverlo significa determinare i valori della corrente fornita da ciascuna sorgente al carico suddetto e la corrente totale che in esso fluisce.

da cui:

$$5\,I_1 + 7{,}5\,I_2 = 60 \qquad (2)$$

I_2 viene eliminata moltiplicando l'equazione (1) per 1,5 e sottraendo dal prodotto l'equazione (2) nel modo seguente:

$$\begin{array}{r} 10{,}5\,I_1 + 7{,}5\,I_2 = 93 \\ 5{,}0\,I_1 + 7{,}5\,I_2 = 60 \\ \hline 5{,}5\,I_1 \quad \text{——} \quad = 33 \end{array}$$

$I_1 = 6$ ampere

Sostituendo questo valore nell'equazione (1):

$7 \times 6 + 5\,I_2 = 62$ da cui $I_2 = 4$ ampère

La corrente totale nel carico sarà quindi

$$I_1 + I_2 = 6 + 4 \text{ A.}$$

Circuiti a ponte

Un classico circuito a ponte è rappresentato dalla **figura 26 F.**

In esso, evidentemente, abbiamo, per la corrente, più di un percorso. Infatti, la corrente di linea — contrassegnata **I** — quando incontra un nodo si divide nei diversi rami e si hanno di conseguenza I_1, I_2, ecc. È importante notare che alla giunzione « A », la corrente **I** è eguale ad $I_1 + I_2$.

Vedremo presto come un circuito a ponte, noto col nome di Ponte di Wheatstone, possa rendersi molto utile col suo comportamento, per la definizione del valore incognito di resistenze.

Per un esame del circuito di figura 26 F, il numero delle correnti conosciute può essere ridotto assegnando una sigla a tutte le correnti che **entrano** in un nodo, ed esprimendo quelle che ne **escono** sotto forma di funzione delle precedenti.

Un esempio di ciò è visibile nel punto « C » del circuito. La corrente che passa attraverso la resistenza di 1 ohm non è che la somma di $I_2 + I_3$, per cui non è necessario stabilire anche la sigla I_4.

Usando la legge di Kirchhoff, si possono scrivere tante equazioni quante sono le incognite da determinare.

Ogni ramo utilizzato per stabilire una equazione, deve comprendere componenti non compresi in altri rami; ogni equazione contiene perciò rapporti che non vengono espressi nelle altre. Tali equazioni sono contemporaneamente esatte, e possono essere raggruppate in un sistema onde ricavare i valori sconosciuti di corrente.

Volendo determinare le correnti di tale ponte con l'impiego della sola legge di Ohm, si incontrerebbero notevoli difficoltà, ma — come vedremo — si può facilmente determinare qualsiasi valore di **E**, **I** o **P** applicando la legge di Kirchhoff.

Supponendo una data direzione della corrente in ogni ramo, la si indica con frecce.

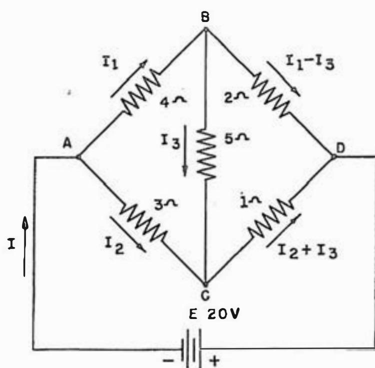


Fig. 26 F - Circuito classico a ponte. Applicando la legge di Kirchhoff si possono determinare i valori di E, I o P.

Per mantenere minimo il numero delle correnti ignote, si considera che **I**, nel punto « A », si divide in I_1 ed I_2. La prima scorre verso il punto « B », e la seconda verso il punto « C ».

La corrente presente nel tratto « BC » viene denominata I_3, mentre quella presente nel tratto « BD » viene determinata in funzione di I_1 e I_3, ossia come $I_1 - I_3$.

Come mezzo di controllo, si può applicare là legge di Kirchhoff sulla corrente al punto « D », come segue:

$$(I_1 - I_3) + (I_2 + I_3) = I_1 + I_2$$

il che equivale alla corrente I_T che esce dal terminale della batteria.

Supponiamo di dover trovare la quantità e la direzione della corrente nel tratto « BC » di 5 ohm.

Si applica la legge di Kirchhoff sulla tensione all'intero circuito, e si allestisce un numero di equazioni sufficiente per includere tutte le correnti incognite.

Se si procede nella direzione presunta della corrente, ogni resistenza causa una caduta di tensione ed è negativa; ogni sorgente di tensione è positiva se favorisce il passaggio di corrente, e negativa se vi si oppone.

Se invece si opera in senso contrario alla direzione presunta, la caduta di tensione ai capi di una resistenza è positiva.

Facciamo seguire ora un esempio di soluzione relativa ad un sistema di equazioni, nelle quali i valori ohmici riportati sono appunto quelli indicati nello schema di figura 26 F.

Allestire le seguenti equazioni:

Circuito « ABDEA »: $-4I_1 - 2\ (I_1 - I_3) + 20 = 0$

Semplificando: $-4I_1 - 2I_1 + 2I_3 + 20 = 0$

(Equazione 1) $-6I_1 + 2I_3 + 20 = 0$

Circuito « ACDEA »: $-3I_2 - 1\ (I_2 + I_3) + 20 = 0$

Semplificando: $-3I_2 - I_2 - I_3 + 20 = 0$

(Equazione 2) $-4I_2 - I_3 + 20 = 0$

Circuito « ABCA »:

(Equazione 3) $-4I_1 - 5I_3 + 3I_2 = 0$

Fatto ciò, eliminare I_1 dalle equazioni 1 e 3 come segue:

Moltiplicare per il numero « 2 » l'equazione 1:

$$-12I_1 + 4I_3 + 40 = 0$$

Moltiplicare per il numero « 3 » l'equazione 3 e sottrarre (cambiando quindi tutti i segni):

$$+12I_1 + 15I_3 - 9I_2 = 0$$

(Equazione 4) $19I_3 - 9I_2 + 40 = 0$

Eliminare I_3 dalle equazioni 2 e 4 come segue:
Moltiplicare per il numero « 19 » l'equazione 2:

$$-76I_2 - 19I_3 + 380 = 0$$

Aggiungere l'equazione 4: $-9I_2 + 19I_3 + 40 = 0$

$$-85I_2 \quad + 420 = 0$$

$$-85I_2 = -420$$

$$I_2 = \frac{480}{85} = 4{,}941 \text{ ampère}$$

Sostituire I_2 nell'equazione 2

$$-4\ (4{,}94) - I_3 + 20 = 0$$
$$-19{,}76 - I_3 + 20 = 0$$
$$-I_3 = 19{,}76 - 20$$
$$I_3 = 0{,}236 \text{ ampère}$$

Sostituire I_3 nell'equazione 1

$$-6I_1 + 2\ (0{,}236) + 20 = 0$$
$$-6I_1 + 0{,}472 + 20 = 0$$
$$-6I_1 = -20{,}472$$
$$I_1 = 3{,}412 \text{ ampère}$$

Sostituire tutti i valori noti nell'equazione 3:

$$-4\ (3{,}412) - 5\ (0{,}236) + 3\ (4{,}94) = 0$$
$$-13{,}648 - 1{,}18 + 14{,}82 = 0$$

In ultimo, dopo aver trovato i valori di I_1, I_2 ed I_3, ci siamo assicurati che fossero esatti mediante l'ultima sostituzione.

La corrente I_3 che scorre attraverso la resistenza di 5 ohm è di 0,236 ampère e la direzione presunta è esatta perché il valore risultante è positivo.

Dal momento che nel punto « A » abbiamo

$$I_T = I_1 + I_2 \quad \text{e} \quad I_T = 8{,}353 \text{ ampère}$$

si ha che:

$$R_T = \frac{E_T}{I_T}$$

$$R = \frac{20}{8{,}353} = 2{,}39 \text{ ohm circa.}$$

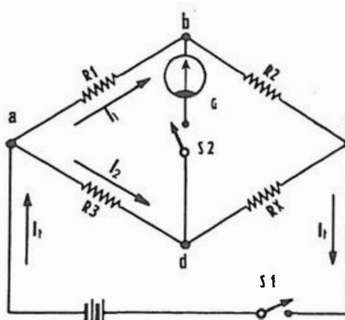


Fig. 27 F - Applicazione pratica del circuito a ponte (Ponte di Wheatstone) per la ricerca del valore di una resistenza, R_X. Se R_1, R_2 ed R_3 sono scelte in modo che lo strumento indicatore G non defletta, in quel momento R_X sarà eguale a $(R_2 \times R_3) : R_1$.

Il ponte di Wheatstone

Poiché nelle pagine che seguono viene descritto un circuito a ponte nella sua applicazione pratica come circuito per la misura (esso deriva dal ponte di Wheatstone al quale si è già fatto cenno), anticipiamo qui un breve cenno sullo schema di principio di tale ponte, al fine di rendere più completa l'analisi e quindi più facile la padronanza dell'apparecchiatura di misura.

Quando l'interruttore S_1 della batteria è chiuso (**figura 27 F**), gli elettroni fluiscono dal terminale negativo della batteria al punto « a ».

Qui la corrente si divide, come accade per qualsiasi coppia di circuiti in parallelo; una parte di essa passa attraverso R_1 ed R_2 e la parte rimanente passa attraverso R_3 ed R_x.

Le due correnti, segnate I_1 ed I_2, si congiungono nel punto « c » e ritornano al terminale positivo della batteria.

Il valore di I_1 dipende dalla somma delle resistenze R_1 ed R_2, ed il valore di I_2 dipende dalla somma delle resistenze R_3 ed R_x.

In ogni caso, in accordo con la legge di Ohm, la corrente è inversamente proporzionale alla resistenza.

R_1, R_2 ed R_3 sono scelte in modo che, allorché l'interruttore S_2 del galvanometro è chiuso, non si verifichi alcuna deflessione dell'indice dello stesso.

Quando il galvanometro non deflette, vuol dire che non vi è differenza di potenziale tra i punti « b » e « d », il che significa anche che la caduta di tensione (E_1) ai capi di R_1 (tra i punti « a » e « b ») è pari alla caduta (E_3) ai capi di R_3 (tra i punti « a » e « d »).

Per analogo ragionamento, le cadute di tensione ai capi di R_2 e di R_x, cioè E_2 ed E_x, sono eguali.

Possiamo esprimere ciò algebricamente:

$$E_1 = E_3 \quad \text{oppure} \quad I_1 R_1 = I_2 R_3;$$

ed:

$$E_2 = E_x \quad \text{oppure} \quad I_1 R_2 = I_2 R_x.$$

Dividiamo la caduta di tensione ai capi di R_1 e di R_3 per le rispettive cadute ai capi di R_2 ed R_x:

$$\frac{I_1 R_1}{I_1 R_2} = \frac{I_2 R_3}{I_2 R_x}$$

semplificando: $$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

Quindi: $$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

I valori di resistenza di R_1, R_2 ed R_3 sono prontamente individuabili dalla indicazione relativa che appare sulle resistenze campione che solitamente si adoperano per realizzare questo tipo di ponte, o sono leggibili su scale tarate se si tratta di ponti con ampia portata di valori di lettura e commutatori per il cambio dei valori campione.

Ponte per R e per C

In luogo del galvanometro G della figura 27 F si può impiegare una cuffia se invece della batteria di pile (corrente continua) si adopera per alimentare il ponte una fonte di corrente alternata. La rete di corrente di casa, sappiamo, è appunto a corrente alternata e, in linea di massima, previa riduzione di tensione, potrebbe prestarsi ad alimentare un ponte. Bisogna però dire subito che detta corrente alterna la sua polarità 50 volte al secondo e se ciò nella cuffia dà luogo ad un suono (ronzio) esso è di tonalità troppo bassa per un impiego pratico.

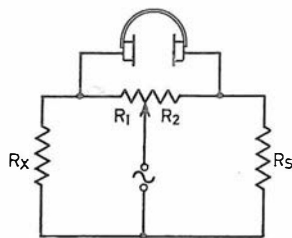


Fig. 28 F - Se un ponte viene alimentato anziché da una pila, da una fonte di tensione alternata (meglio se a frequenza un po' alta) il punto di azzeramento può essere rilevato acusticamente invece che letto su di uno strumento.

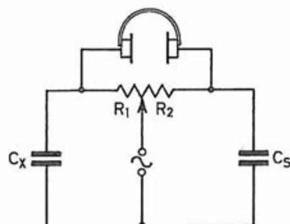


Fig. 29 F - Nel caso di alimentazione di cui sopra due dei quattro elementi costituenti il ponte possono essere capacità (attraverso le quali la tensione alternata può passare); si ha così la possibilità di individuare anche valori incogniti di condensatori.

Per quanto sopra è opportuno allora alimentare il ponte con un'alternata a frequenza più alta, ciò che si può ottenere ad esempio, realizzando un oscillatore a transistori. Scegliendo opportunamente i valori si può generare una piccola tensione sui 5 o 6 mila hertz con la quale si ha una nota di tono alquanto alto. La **figura 28 F**, equivalente a quella precedente, mostra ove viene applicata una simile tensione e dove viene connessa la cuffia. In luogo dell'indicazione « zero » (centrale) dello strumento si ha lo zero del suono.

La prerogativa del ponte, vale a dire il suo equilibrio, è utile per conoscere il valore di uno degli elementi del ponte stesso (se preso di proposito come incognita). Il che vuol dire, in altre parole, che il ponte serve ad identificare valori sconosciuti di resistenze e, nel caso di **figura 29 F**, di condensatori.

In entrambi i casi, noti R1 - R2 - Rs (o Cs) si può leggere su una scala, appositamente tarata e facente capo al potenziometro, il valore di Rx (o di Cx).

Secondo il principio ora enunciato si costruiscono apparecchi di misura sul tipo di cui alla **figura 30 F** che somma le due possibilità (R e C). RV4 è un potenziometro da 1 000 ohm; è bene sia di ampie dimensioni e del tipo a filo. Se R5 è di 1 000 ohm, R6 di 100 000 ohm, C3 di 1 000 pF e C4 di 100 000 pF si possono coprire le portate: 10 ohm — 100 kΩ; 10 pF — 0,1 μF; 1 000 pF — 10 μF a seconda della posizione che si fa assumere ad S1 ed S2.

Naturalmente, si possono prevedere altre portate sulla base di altri valori. Come si osserva, è previsto l'inserimento di un elemento esterno (Standard) oltre a quelli interni citati.

Si noti che per poter calibrare il ponte direttamente in valori di resistenza e di capacità e non di resistenza e « reattanza » capacitiva, la posizione dello standard e del componente incognito vengono intercambiate allorché si commuta tra lettura di resistenza e lettura di capacità.

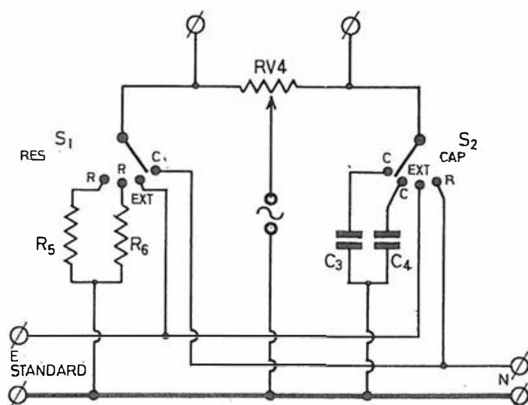
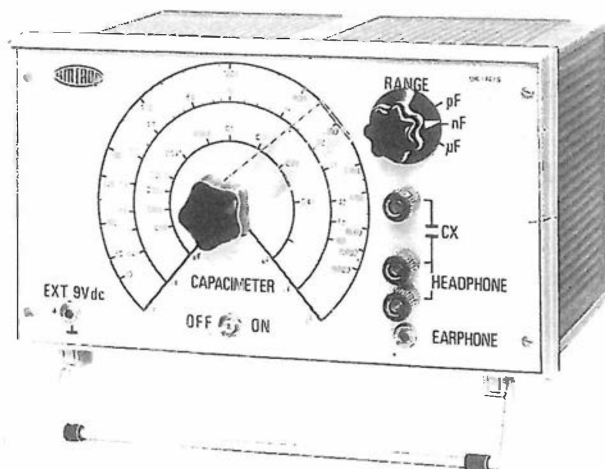


Fig. 30 F - Le due predisposizioni viste nelle figure precedenti possono essere abbinate per dar luogo ad un unico apparecchio di misura, con varie portate. In esso, secondo la posizione indicata per S1-S2, una capacità standard è connessa in « E » mentre « N » fa capo all'elemento incognito. Ai capi di RV 4 si inserisce una cuffia.

Un ponte per la misura delle capacità

Misura da 10 pF a un microfarad in tre gamme. Azzeramento con controllo acustico. Alimentazione autonoma da pila a 9 volt, o con alimentatore esterno.



Un riepilogo sui "ponti"

Un misuratore di capacità è uno strumento molto utile in laboratorio, tanto in quello professionale che in quello dilettantistico.

Un tale strumento infatti, oltre a consentire di misurare il valore della capacità di un condensatore permette di controllarne l'efficienza, oppure di verificare se il valore nominale si è mantenuto, durante il suo impiego, nei limiti di tolleranza fissati dal costruttore.

Quest'ultimo è un fattore della massima importanza e ben lo sanno i riparatori che frequentemente si trovano di fronte ad anomalie di funzionamento di un apparecchio difficilmente individuabili, specialmente se interessano i circuiti di alta o di media frequenza, che poi risultano essere dovute soltanto a condensatori che con il passare del tempo si sono spostati notevolmente dal loro valore nominale.

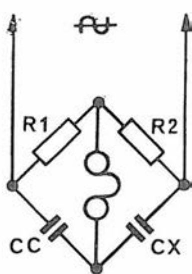


Fig. 31 F - Il principio di funzionamento di questo ponte di misura è quello già visto in figura 29 F; esso, nel caso particolare, prende il nome di Ponte di De Sauty. La capacità campione CC assume valori diversi a seconda delle portate desiderate, come si può osservare in figura 32 F (C3-C4-C5).

I moderni strumenti di misura che sono usati comunemente per la misura della capacità (ed anche quelli destinati alla misura delle resistenze o delle induttanze), si basano preferibilmente sui sistemi a ponte i quali, oltre ad essere estremamente comodi, sono altresì molto pratici.

I sistemi a ponte derivano dal metodo di Poggendorf al quale sono state portate alcune semplificazioni che ne rendono più rapido l'impiego pur conservandone inalterate le caratteristiche di elevata sensibilità e precisione.

Un ponte di misura, lo abbiamo visto, non è altro che un circuito costituito da quattro elementi, oppure da quattro gruppi di elementi (resistori, capacità od induttanze), disposto in modo tale da formare un quadrilatero di cui una diagonale fa capo ad una sorgente di corrente, mentre l'altra è collegata allo strumento di misura.

Con questo sistema, le misure di resistenza, di capacità e di induttanza, a seconda del circuito usato, sono effettuate con il **metodo di zero**, equilibrando cioè le due sezioni opposte del ponte, ossia i due circuiti derivati visibili in **figura 31 F**, in modo che i due punti disposti in opposizione, siano mantenuti allo stesso potenziale.

Quando il ponte viene portato in perfetto equilibrio, lo strumento (che può essere un galvanometro) e che è sostituito da una cuffia se si opera in corrente alternata, non sarà percorso da alcuna corrente. Pertanto, se lo strumento usato è del tipo con zero centrale l'indice si fermerà stabilmente al centro; qualora invece il controllo sia eseguito mediante una cuffia con essa non sarà percepibile alcun segnale.

È esattamente quanto abbiamo testé visto alla pagina precedente (figure 28 e 29 F).

Il ponte più noto è quello di Wheatstone nel quale i quattro rami del circuito sono costituiti da resistori di cui uno variabile, come abbiamo visto.

Trattandosi di un ponte usato per la misura della resistenza è ovvio che uno dei quattro resistori è quello incognito che si vuole misurare e che dovrà essere connesso a due appositi morsetti.

Per misurare la capacità si ricorre invece al ponte di De Sauty, derivato anch'esso dal ponte di Wheatstone come altri del genere, che è alimentato in corrente alternata, a bassa od alta frequenza, con i due rami formati da due resistori e da due condensatori, uno dei quali è

quello di cui si desidera conoscere il valore.

Il funzionamento di questo tipo particolare di ponte si basa, lo sappiamo, sul confronto della capacità incognita CX con un'altra capacità CC, detta capacità campione. Esse sono inserite nei rami adiacenti del ponte come mostra la figura 31 F.

I due resistori R1 e R2 costituiscono i rimanenti due rami.

Nel ponte di De Sauty, essendo tale ponte alimentato con corrente alternata, in sostituzione dello strumento di misura si usa una normale cuffia telefonica.

Se si applica una tensione alternata ad una diagonale del ponte, qualora le due sezioni non siano in equilibrio, tra due punti in opposizione circolerà una certa corrente che sarà proporzionale all'entità dello squilibrio stesso e pertanto nella cuffia si sentirà un suono.

Quando invece il rapporto fra i due resistori R1 e R2 corrisponderà esattamente al rapporto che esiste fra i due condensatori CX e CC, il ponte risulterà in perfetto equilibrio e perciò nelle due sezioni circoleranno correnti aventi lo stesso valore ma in opposizione di fase fra loro, di modo che nella cuffia non sarà udibile alcun suono.

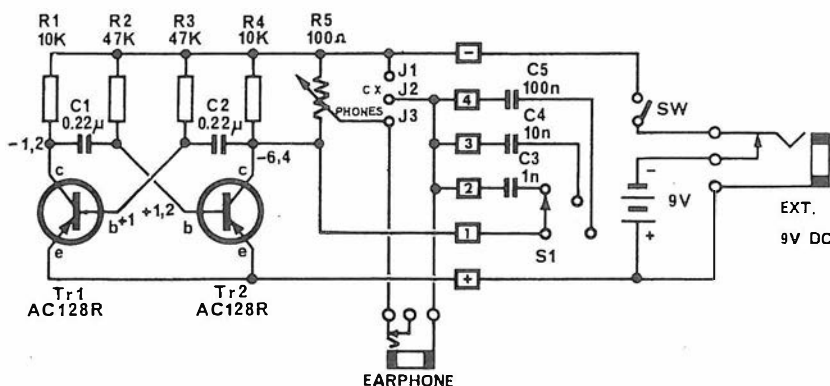
In queste condizioni si verificherà pertanto la seguente relazione:

$$R1 : R2 = CX : CC$$

dalla quale si avrà che:

$$CX = CC \times R1 : R2$$

Se i due resistori R1 e R2 saranno stati scelti di valore identico, evidentemente il rapporto R1 : R2 sarà uguale all'unità e perciò la sud-



detta relazione si trasformerà nella seguente:

$$CX = CC \times 1$$

ossia $CX = CC$.

Si può dunque affermare che il silenzio nella cuffia si avrà soltanto quando il valore della capacità campione CC avrà lo stesso valore della capacità incognita CX.

In pratica, una delle due resistenze, e sovente tutte e due, sono di tipo regolabile anzi, generalmente, come si è visto in figura 29 F, si preferisce ricorrere all'impiego di un potenziometro.

Fig. 32 F - Schema elettrico completo del ponte. Oltre alla variazione di gamma effettuata da S1 è da rilevare il generatore locale della tensione alternata formato dal circuito dei due trasistori che funzionano secondo una predisposizione detta « multivibratore ».

In questo caso quando il cursore del potenziometro si trova perfettamente al centro, la sua resistenza complessiva è suddivisa in due rami R1 e R2 perfettamente identici fra loro e quindi con rapporto uguale all'unità.

Se allora si fa ruotare, ad esempio, il cursore del potenziometro in modo da ottenere il silenzio nella cuffia quando il valore del ramo R1 è il doppio di quello di R2, ciò significa che il loro rapporto (R1 : R2) è uguale a 2 e di conseguenza il valore del condensatore CX sarà uguale a 2 CC.

Se invece fosse il ramo R2 del potenziometro ad avere un valore doppio di quello di R1, il rapporto R1/R2 corrisponderà a 0,5 e pertanto il valore di CX sarà di 0,5 CC.

Quanto abbiamo detto è evidente per il fatto che deve essere rispettata la condizione di partenza:

$$R1 : R2 = CX : CC$$

Il ragionamento che abbiamo sopra esposto, ovviamente è valido per qualsiasi altro rapporto e ciò permette di conoscere direttamente il valore dei condensatori controllati tarando opportunamente una scala su cui viene fatto scorrere l'indice di una manopola connessa al cursore del potenziometro.

Il circuito elettrico

Il circuito elettrico complessivo è illustrato in **figura 32 F**. Si tratta essenzialmente di un ponte di De Sauty in cui i due resistori sono formati dai due rami di un potenziometro e gli altri due rami da due condensatori, uno quello incognito CX e l'altro quello campione CC.

Un multivibratore ha il compito di fornire la corrente alternata, che in questo caso ha una frequenza fonica, perfettamente udibile in cuffia. Ciò evita di dover ricorrere forzatamente a collegamenti fissi con la rete elettrica permettendo di realizzare un apparecchio di tipo portatile.

È ovvio che se si desidera effettuare misure in una gamma di capacità piuttosto estesa, come nel nostro caso, non è conveniente usare un solo condensatore campione e pertanto sono stati utilizzati qui tre distinti condensatori e precisamente C3, da 1 nF, C4, da 10 nF e C5 da 100 nF, i quali, in funzione della gamma di misura prescelta, possono essere inseriti, uno alla volta, tramite il commutatore S1 ad una via tre posizioni.

Il valore di 100 Ω per il potenziometro R5 è il più adatto per l'estensione della gamma di misura.

Il circuito che genera la corrente fonica, come abbiamo detto, è costituito da un multivibratore a transistori.

Un multivibratore, nella sua forma più elementare, non è altro che un circuito oscillante il

quale genera una frequenza fissa che ha una forma non sinusoidale; analizziamone brevemente il suo funzionamento riferendoci alla figura 32 F.

Queste brevi note saranno meglio comprese da coloro che seguono per la prima volta la nostra tecnica, allorché, più avanti, affronteremo l'argomento transistori e successivamente quello oscillatori.

Ammettiamo che il transistore TR1 sia il primo ad entrare in conduzione; sul suo collettore sarà presente un potenziale negativo che, tramite il condensatore C1 verrà inviato alla base di TR2 provocando il blocco del transistore.

Siccome il condensatore C1 si carica e si scarica secondo una costante di tempo che è legata al valore di C1-R2, il potenziale di base di TR2 salirà progressivamente fino a raggiungere un valore sufficiente a fare entrare in conduzione il transistore TR2 stesso, mentre contemporaneamente si bloccherà il transistore TR1. Si verificherà anche in questo caso un fronte di tensione negativa che, tramite il condensatore C3, la cui costante di tempo dipende dal circuito C2-R3, farà salire la tensione di polarizzazione di base del transistore TR1 il quale entrerà nuovamente in conduzione e così via.

I resistori R1 e R4 hanno il compito di fornire la tensione di polarizzazione al collettore.

Il montaggio

Per effettuare correttamente il montaggio del capacimetro a ponte è sufficiente attenersi alle istruzioni che sono corredate di chiarissime riproduzioni serigrafiche e fotografiche del circuito stampato e da alcuni esplosi di montaggio e di cablaggio con relative tabelle di riferimento.

Prima di iniziare il montaggio è consigliabile leggere una prima volta e con attenzione le istruzioni in modo da farsi un'idea ben precisa della successione delle varie fasi.

Successivamente, si procederà alla selezione dei componenti, resistori, condensatori e transistori, operazione questa che non presenta alcuna difficoltà dato l'esiguo numero dei componenti stessi.

Qualora sorgano dei dubbi circa l'esatto valore dei resistori e dei condensatori, è necessario consultare il codice dei colori, che è pure allegato alle istruzioni.

Tanto i condensatori quanto i resistori, dovranno essere montati orizzontalmente sulla piastrina del circuito stampato, dal lato isolato.

Le varie fasi di montaggio si devono susseguire nel seguente modo:

1) preparazione del circuito stampato (**figura 33 F**).
2) montaggio dei componenti sul pannello anteriore.

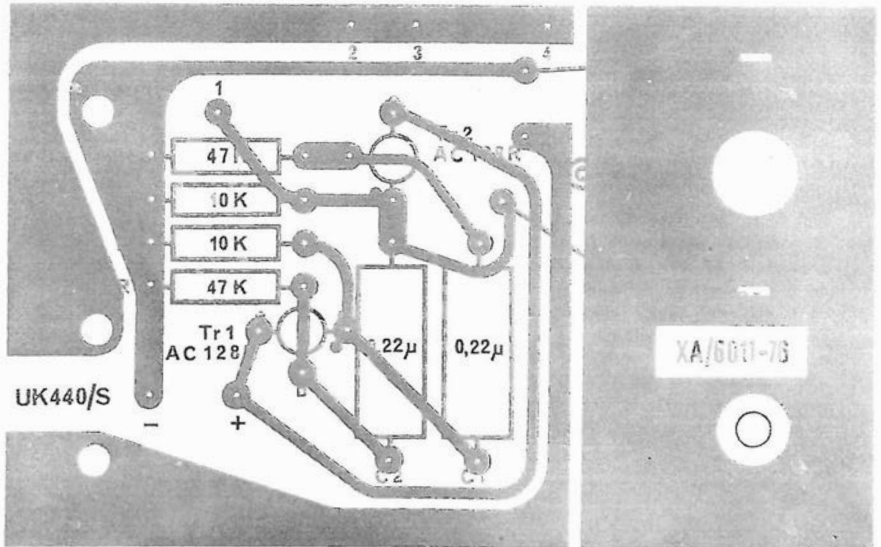


Fig. 33 F - La piastra a circuito stampato sulla quale devono essere collocati i componenti. La zona in grigio indica il rame visto per « trasparenza ». A destra in alto viene fissato il particolare potenziometro da 100 ohm (R5), sul cui albero è innestata la manopola di lettura.

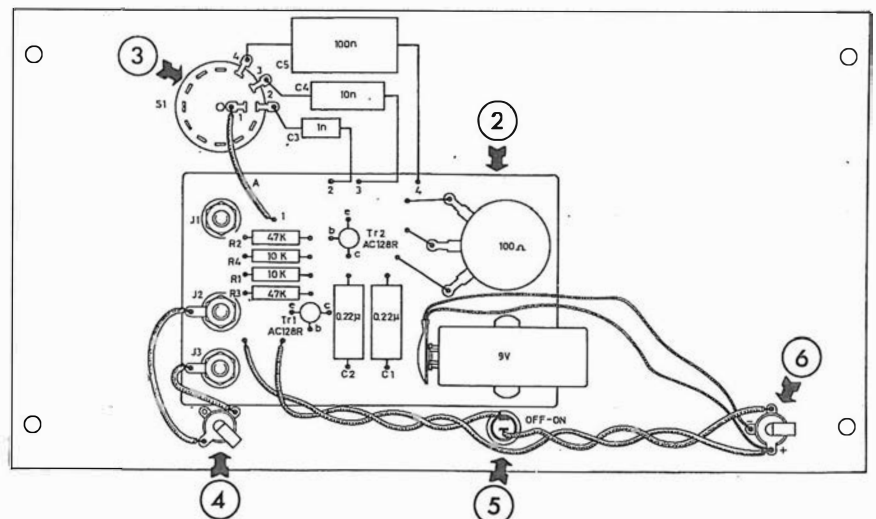
3) fissaggio del circuito stampato al pannello anteriore.
4) cablaggio (**figura 34 F**).
5) rifinitura finale (**figura 35 F**).

Misura dei condensatori

Questo capacimetro a ponte non richiede alcuna operazione di messa a punto. Per eseguire la misura di capacità si dovrà inserire nei morsetti contrassegnati dalla sigla « CX » il condensatore di capacità sconosciuta, o comunque da controllare, e ai morsetti contrassegnati « Headphones » la cuffia. Eventualmente si potrà inserire, al posto della cuffia, l'auricolare nella presa jack « Earphone ».

Accendendo l'apparecchio, portando cioè l'interruttore nella posizione ON, quasi certamente si sentirà nella cuffia un suono poiché ben difficilmente il ponte risulterà perfettamente azzerato in partenza.

Fig. 34 F - Qui sotto si rileva il posizionamento della piastra (2) testé vista, sul pannello frontale dell'apparecchio, nonché i collegamenti tra piastra ed altre parti. « 3 » è il commutatore S1; « 4 » è la presa a jack per auricolare; 5 » è l'interruttore SW e « 6 » è la presa a jack per eventuale alimentazione dall'esterno.



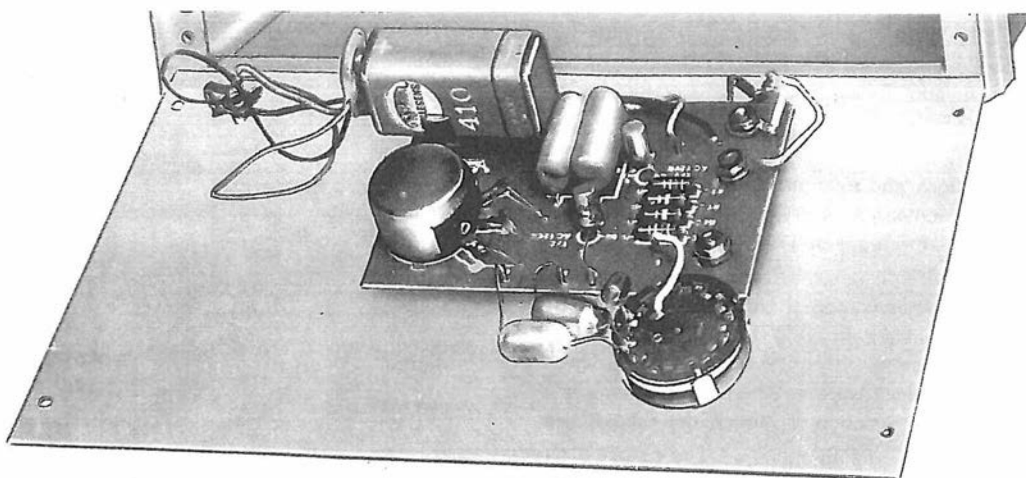


Fig. 35 F - Illustrazione fotografica di quanto si rileva sulla figura precedente. Si noti la presenza ed il collocamento della pila da 9 volt che rende autonomo l'apparecchio. Quest'ultimo è denominato, nella serie dei « kit » Amtron, UK 440/S e si presenta, terminato, così come si può osservare a pagina 25 f.

Dopo aver portato il commutatore nella posizione corrispondente alla gamma di misura desiderata, si gira la manopola centrale, che comanda il potenziometro, fino a quando nella cuffia non sarà percettibile alcun suono, condizione questa che significa che il ponte è in perfetto equilibrio.

Pertanto, non resterà che leggere il valore di capacità sulla scala corrispondente alla posizione del commutatore, valore che corrisponderà appunto, alla capacità del condensatore in prova.

Il consumo della pila è esiguo; comunque, se l'apparecchio fosse rimasto molto tempo inattivo oppure fosse stato usato con frequenza è opportuno controllare la sua tensione. Una tensione bassa è quasi sempre causa di funzionamento irregolare del multivibratore.

Desiderando collegare il capacimetro ad una sorgente esterna occorre fare il collegamento tramite l'apposita presa jack EXT 9 V c.c.

Un rapporto tra due grandezze: il decibel

Ci siamo occupati già di quasi tutte le più correnti unità di misura dell'elettricità. In altre parole, abbiamo conosciuto molte delle grandezze in gioco di una scienza esatta.

Una interessante particolarità delle unità di cui ci siamo occupati, è che **ciascuna di esse esprime una grandezza ben definita.**

In funzione di tali unità è possibile esprimerne altre.

Sappiamo bene che le unità « metro », « centimetro », « litro », « chilometro », « chilogrammo », sono grandezze ben definite, inconfondibili ed inconfutabili.

Anche le unità elettriche sono tali. Abbiamo visto infatti come può essere definito esattamente il « volt », « l'ampère », « l'ohm », ecc.

La caratteristica delle unità di cui sopra manca invece al « decibel », del quale stiamo per occuparci. Questa unità di misura — infatti — non esprime una grandezza definita, bensì **un rapporto tra due grandezze** definite.

Per chiarire questo concetto di rapporto possiamo servirci di un esempio: se diciamo che la distanza tra Milano e Torino è di 145 chilometri, usiamo una grandezza ben definita (il metro e, per comodità, il chilometro); se però diciamo che la distanza tra Modena e Parma è 2 volte la distanza tra Modena e Reggio Emilia, usiamo un rapporto. Ciò non toglie che, conoscendo la distanza tra Modena e Reggio, si possa valutare egualmente la distanza tra Modena e Parma.

Nel nostro campo, riferendoci, ad esempio, all'amplificazione fornita da un'apparecchiatura elettronica, possiamo dire che la potenza fornita da un determinato stadio in uscita equivale a 10 volte la potenza applicata in entrata. In questo caso, il rapporto tra le due potenze in gioco è esattamente 10 : 1, ossia 10.

Il valore così ricavato viene espresso in **bel**, e corrisponde, in questo caso, ad 1 « bel ».

In realtà, l'unità « bel » non viene adottata per semplice comodità di calcolo, mentre è di uso più pratico il « decimo di bel », ossia il **decibel.**

In altre parole, 1 bel = 10 decibel (abbreviato 10 dB), perciò nel caso di cui sopra si troverà sempre un'indicazione di 10 dB (decibel) anziché di 1 B (bel).

Nell'uso di questo sistema per esprimere delle grandezze, si rivela tutta la praticità ed utilità dei logaritmi, in quanto su di essi si basano tutti i calcoli di amplificazione (decibel positivi) e di attenuazione (decibel negativi). Avvertiamo subito che per chi non conoscesse definizione e impiego dei logaritmi, pubblichiamo, in questa stessa lezione, una tabella già pronta, utile alla conversione tra rapporti e decibel, e viceversa.

Il decibel è correntemente impiegato nei riferimenti di alcune caratteristiche dei circuiti elettronici, specialmente per ciò che si riferisce a dati di funzionamento di amplificatori, di antenne, di strumenti di misura, ecc.

L'orecchio umano non ha un responso lineare ai cambiamenti dei livelli di potenza e di energia. Supponiamo di avere, ad esempio, un amplificatore che fornisca una nota pura, con una potenza acustica effettiva pari ad 1 watt.

L'esperienza ha dimostrato che, affinché l'orecchio di un ascoltatore avverta una potenza acustica doppia, la potenza effettiva dell'amplificatore deve aumentare di ben 10 volte, per cui tale potenza deve essere portata a 10 watt.

Analogamente, affinché l'orecchio avverta un aumento di 3 volte, la potenza deve essere centuplicata, ossia la potenza, da 1 watt deve essere portata a 100 watt. Per dare la sensazione di una potenza quadrupla, la potenza d'uscita effettiva deve essere aumentata di 1000 volte, e deve quindi essere portata a 1000 watt, e così via.

Anche per dare all'orecchio dell'ascoltatore la sensazione di una potenza pari alla metà di quella fornita dall'amplificatore da 1 watt, è necessario che la potenza stessa diventi la decima parte, ossia 0,1 watt, e così via.

In tutti i casi considerati, la variazione di potenza può essere comodamente espressa in decibel.

Il decibel equivale a 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra due potenze, P1 e P2.

Se detto rapporto è maggiore di 1 (ossia se $P1 > P2$), si tratta di decibel positivi (amplificazione); se invece il rapporto è minore di 1 (ossia $P1 < P2$), si tratta di decibel negativi (attenuazione).

Ciò è espresso matematicamente dalla seguente eguaglianza:

$$1)\quad dB = 10 \log \frac{P1}{P2}$$

nella quale P1 e P2 rappresentano le due potenze in gioco, espresse in watt.

La funzione logaritmica è dovuta semplicemente al fatto che — come si è detto poc'anzi — la sensibilità dell'orecchio umano alle variazioni di potenza risulta appunto logaritmica.

Risaliamo ora agli esempi precedentemente citati; possiamo stabilire i valori in decibel che esprimono i relativi rapporti, chiamando P1 la potenza necessaria per dare la sensazione diversa e P2 quella disponibile.

Con un aumento di potenza di 10 volte abbiamo:

$$dB = 10 \log (P1:P2) = 10 \log (10:1) = 10 \log 10;$$

poiché il logaritmo di 10 è 1, l'espressione considerata diventa:

$$dB = 10 \log 10 = 10 \times 1 = 10;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 10 dB.

Con un aumento di potenza di 100 volte, abbiamo:

$$dB = 10 \log (100 : 1) = 10 \log 100;$$

poiché il logaritmo di 100 è 2, l'espressione considerata diventa:

$$dB = 10 \log 100 = 10 \times 2 = 20;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 20 dB.

Con un aumento di potenza di 1000 volte, abbiamo:

$$dB = 10 \log 1000 = 10 \times 3 \doteq 30;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 30 dB.

Nel caso della diminuzione della potenza ad un decimo di quella effettiva, abbiamo $P2 > P1$, ed il rapporto tra le due potenze è 0,1. In tal caso:

$$dB = 10 \log 0{,}1;$$

poiché il logaritmo di 0,1 è —1, abbiamo che:

$$dB = 10 (-1) = -10$$

si ha quindi una variazione di potenza pari a —10 dB.

Occorre rilevare che un aumento di una quantità negativa corrisponde — in realtà — ad una diminuzione. In altre parole in questo caso si ha un'attenuazione di 10 dB.

Potenza - tensione - corrente

Nella lezione vertente sulle unità di misura elettriche abbiamo visto come la potenza possa essere espressa in funzione della tensione e della corrente.

Anche i rapporti tra queste grandezze possono essere espressi in decibel; a tale scopo vale la seguente regola:

Il decibel equivale a 20 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra due tensioni o tra due correnti.

Ciò è espresso matematicamente dalle seguenti eguaglianze:

$$2)\quad dB = 20 \log_{10} \frac{E1}{E2}$$

nella quale E1 ed E2 rappresentano le due tensioni in gioco espresse in volt.

$$3)\quad dB = 20 \log_{10} \frac{I1}{I2}$$

nella quale I1 ed I2 rappresentano le correnti in gioco espresse in ampère.

Si ricordi a tale proposito che il segno «1» viene sempre affiancato alla grandezza di uscita ed il segno «2» alla grandezza di entrata.

In realtà, queste due eguaglianze risultano vere soltanto **se le due tensioni o le due correnti in gioco sono riferite a due resistenze rispettivamente di egual valore.**

In altre parole, sappiamo che in uno stadio di amplificazione abbiamo una resistenza di ingresso ed una resistenza di uscita (resistenza di carico). Ora, affinché l'eguaglianza sussista nella forma enunciata, è necessario che la resistenza di ingresso e quella di uscita, ai capi delle quali si trovano le due tensioni considerate, siano di egual valore.

Altrettanto dicasi se, in luogo delle tensioni presenti ai loro capi, si considerano le correnti che le percorrono.

Vediamo, con qualche esempio pratico, come è possibile calcolare il guadagno o l'attenuazione in dB in un circuito elettronico.

Supponiamo che la resistenza d'ingresso di uno stadio di amplificazione sia eguale a quella di uscita.

Se il segnale di ingresso è di 0,001 volt (pari ad 1 millivolt), e la tensione del segnale presente in uscita è pari a 1 volt, abbiamo che:

$$dB = 20 \log (1 : 0{,}001) = 20 \log 1000;$$

poiché il logaritmo di 1000 è 3, abbiamo che:

$$dB = 20 \times 3 = 60.$$

Si ha dunque un guadagno di 60 dB.

Consideriamo ora il caso di un attenuatore a «π», del tipo illlustrato a pag. 20 f. «R1» è eguale ad «R3», per cui la legge sussiste.

Se all'entrata è disponibile una tensione di 1 volt, ed all'uscita la tensione è ridotta a 0,1 volt, abbiamo che:

$$dB = 20 \log (0{,}1 : 1) = 20 \log 0{,}1;$$

poiché il logaritmo di 0,1 è —1, abbiamo che:

$$dB = 20 \ (-1) = -20.$$

Si ha dunque un «guadagno» di —20 dB, ossia un'attenuazione di 20 dB.

Il procedimento di calcolo nei confronti del rapporto tra due correnti è del tutto analogo.

Calcolo mediante la tabella

La tabella riportata alla pagina seguente consente di effettuare qualsiasi calcolo in decibel, sia che si tratti di rapporti di potenza che di rapporti di tensione o di corrente.

Essa consta di tre gruppi di cinque colonne ciascuno.

Ogni gruppo ha una colonna centrale nella quale sono elencati i valori in decibel corrispondenti ai vari rapporti; il gruppo di sinistra va da 0 a 6,9 dB, quello centrale da 7 a 13,9 dB e quello di destra da 14 a 100 dB.

L'estensione totale della tabella è dunque compresa tra 0 e 100 dB.

Ai lati di ciascuna delle tre colonne dei decibel (a destra ed a sinistra), sono presenti due colonne contrassegnate P1 : P2 ed E1 : E2. La prima elenca i rapporti di potenza, e l'altra i rapporti di tensione.

Quest'ultima può essere usata indifferentemente anche per i rapporti di corrente (I1 : I2), in quanto la formula relativa, come abbiamo visto, è del tutto analoga.

Indipendentemente dalla possibilità di calcolare un valore in dB mediante le tavole logaritmiche, questa tabella consente perciò un calcolo rapido ed abbastanza esatto.

Eccone l'impiego: noti che siano i valori di potenza in entrata ed in uscita in uno stadio di amplificazione o di un attenuatore, oppure i valori delle tensioni o delle correnti in gioco, è sufficiente calcolare con una semplice divisione il rapporto tra le due grandezze (P1 : P2, oppure E1 : E2, o ancora I1 : I2).

Se il rapporto è maggiore di 1, deve essere individuato in una delle colonne riportate «a destra» della colonna dei decibel, i quali avranno un valore positivo (preceduto dal segno +).

Se invece il valore del rapporto è inferiore a 1, esso dovrà essere individuato nelle colonne «a sinistra», ed il valore in decibel corrispondente sarà negativo (preceduto dal segno —).

Un esempio di impiego

Supponiamo, ad esempio, che uno stadio di amplificazione abbia una potenza di ingresso di 0,002 watt, ed una potenza di uscita di 0,060 watt. Il rapporto tra queste due grandezze è 0,06 : 0,002 = 30.

Trattandosi di un rapporto di potenza (P1 : P2) maggiore di 1, il valore 30 dovrà essere individuato in una delle colonne presenti a destra delle colonne dei decibel. Il valore ad esso più approssimato è 30,2, e si trova nell'ultima colonna della tabella, a destra del lettore, verso l'alto.

Ad esso, nella colonna dei decibel relativa, corrisponde un valore di +14,8 dB.

Se — invece che di un amplificatore — si fosse trattato di un attenuatore, avremmo avuto P1 < P2, ossia il rapporto sarebbe stato 0,002 : 0,06 = 0,033. Tale rapporto, minore di 1, deve essere individuato in una delle colonne presenti a sinistra delle colonne dei decibel. Quello ad esso più approssimato (sempre dei rapporti P1 : P2) è 0,03311, che si trova nella undicesima colonna a partire da sinistra, verso l'alto.

Ad esso, nella colonna dei decibel, corrisponde il valore di —14,8 dB.

Trattandosi del rapporto tra tensioni o correnti, l'uso della tabella è del tutto identico, con la sola differenza che il valore deve essere individuato in una delle colonne contrassegnate E1 : E2.

Tabella 1 F — LIVELLI in DECIBEL in funzione del RAPPORTO di TENSIONE (o CORRENTE) e di POTENZA

P1:P2 (−)	E1:E2 (−)	dB	E1:E2 (+)	P1:P2 (+)
1,0000	1,0000	0	1,000	1,000
0,9772	0,9886	0,1	1,012	1,023
0,9550	0,9772	0,2	1,023	1,047
0,9333	0,9661	0,3	1,035	1,072
0,9120	0,9550	0,4	1,047	1,096
0,8913	0,9441	0,5	1,059	1,122
0,8710	0,9333	0,6	1,072	1,148
0,8511	0,9226	0,7	1,084	1,175
0,8318	0,9120	0,8	1,096	1,202
0,8128	0,9016	0,9	1,109	1,230
0,7943	0,8913	1	1,122	1,259
0,7762	0,8810	1,1	1,135	1,288
0,7586	0,8710	1,2	1,148	1,318
0,7413	0,8610	1,3	1,161	1,349
0,7244	0,8511	1,4	1,175	1,380
0,7079	0,8414	1,5	1,189	1,413
0,6918	0,8318	1,6	1,202	1,445
0,6761	0,8222	1,7	1,216	1,479
0,6607	0,8128	1,8	1,230	1,514
0,6457	0,8035	1,9	1,245	1,549
0,6310	0,7943	2	1,259	1,585
0,6166	0,7852	2,1	1,274	1,622
0,6026	0,7762	2,2	1,288	1,660
0,5888	0,7674	2,3	1,303	1,698
0,5754	0,7586	2,4	1,318	1,738
0,5623	0,7499	2,5	1,334	1,778
0,5495	0,7413	2,6	1,349	1,820
0,5370	0,7328	2,7	1,365	1,862
0,5248	0,7244	2,8	1,380	1,905
0,5129	0,7161	2,9	1,396	1,950
0,5012	0,7079	3,0	1,413	1,995
0,4898	0,6998	3,1	1,429	2,042
0,4786	0,6918	3,2	1,445	2,089
0,4677	0,6839	3,3	1,462	2,138
0,4571	0,6761	3,4	1,479	2,188
0,4467	0,6683	3,5	1,496	2,239
0,4365	0,6607	3,6	1,514	2,291
0,4266	0,6531	3,7	1,531	2,344
0,4169	0,6457	3,8	1,549	2,399
0,4074	0,6383	3,9	1,567	2,455
0,3981	0,6310	4,0	1,585	2,512
0,3890	0,6237	4,1	1,603	2,570
0,3802	0,6166	4,2	1,622	2,630
0,3715	0,6095	4,3	1,641	2,692
0,3631	0,6026	4,4	1,660	2,754
0,3548	0,5957	4,5	1,679	2,818
0,3467	0,5888	4,6	1,698	2,884
0,3388	0,5821	4,7	1,718	2,951
0,3311	0,5754	4,8	1,738	3,020
0,3236	0,5689	4,9	1,758	3,090
0,3162	0,5623	5,0	1,778	3,162
0,3090	0,5559	5,1	1,799	3,236
0,3020	0,5495	5,2	1,820	3,311
0,2951	0,5433	5,3	1,841	3,388
0,2884	0,5370	5,4	1,862	3,467
0,2818	0,5309	5,5	1,884	3,548
0,2754	0,5248	5,6	1,905	3,631
0,2692	0,5188	5,7	1,928	3,715
0,2630	0,5129	5,8	1,950	3,802
0,2570	0,5070	5,9	1,972	3,890
0,2512	0,5012	6,0	1,995	3,981
0,2455	0,4955	6,1	2,018	4,074
0,2399	0,4898	6,2	2,042	4,169
0,2344	0,4842	6,3	2,065	4,266
0,2291	0,4786	6,4	2,089	4,365
0,2239	0,4732	6,5	2,113	4,467
0,2188	0,4677	6,6	2,138	4,571
0,2138	0,4624	6,7	2,163	4,677
0,2089	0,4571	6,8	2,188	4,786
0,2042	0,4519	6,9	2,213	4,898

P1:P2 (−)	E1:E2 (−)	dB	E1:E2 (+)	P1:P2 (+)
0,1995	0,4467	7,0	2,239	5,012
0,1950	0,4416	7,1	2,265	5,129
0,1905	0,4365	7,2	2,291	5,248
0,1862	0,4315	7,3	2,317	5,370
0,1820	0,4266	7,4	2,344	5,495
0,1778	0,4217	7,5	2,371	5,623
0,1738	0,4169	7,6	2,399	5,754
0,1698	0,4121	7,7	2,427	5,888
0,1660	0,4074	7,8	2,455	6,026
0,1622	0,4027	7,9	2,483	6,166
0,1585	0,3981	8	2,512	6,310
0,1549	0,3936	8,1	2,541	6,457
0,1514	0,3890	8,2	2,570	6,607
0,1479	0,3846	8,3	2,600	6,761
0,1445	0,3802	8,4	2,630	6,918
0,1413	0,3758	8,5	2,661	7,079
0,1380	0,3715	8,6	2,692	7,244
0,1349	0,3673	8,7	2,723	7,413
0,1318	0,3631	8,8	2,754	7,586
0,1288	0,3589	8,9	2,786	7,762
0,1259	0,3548	9	2,818	7,943
0,1230	0,3508	9,1	2,851	8,128
0,1202	0,3467	9,2	2,884	8,318
0,1175	0,3428	9,3	2,917	8,511
0,1148	0,3388	9,4	2,951	8,710
0,1122	0,3350	9,5	2,985	8,913
0,1096	0,3311	9,6	3,020	9,120
0,1072	0,3273	9,7	3,055	9,333
0,1047	0,3236	9,8	3,090	9,550
0,1023	0,3199	9,9	3,126	9,772
0,1000	0,3162	10,0	3,162	10,000
0,09772	0,3126	10,1	3,199	10,23
0,09550	0,3090	10,2	3,236	10,47
0,09333	0,3055	10,3	3,273	10,72
0,09120	0,3020	10,4	3,311	10,96
0,08913	0,2985	10,5	3,350	11,22
0,08710	0,2951	10,6	3,388	11,48
0,08511	0,2917	10,7	3,428	11,75
0,08318	0,2884	10,8	3,467	12,02
0,08128	0,2851	10,9	3,508	12,30
0,07943	0,2818	11,0	3,548	12,59
0,07762	0,2786	11,1	3,589	12,88
0,07586	0,2754	11,2	3,631	13,18
0,07413	0,2723	11,3	3,673	13,49
0,07244	0,2692	11,4	3,715	13,80
0,07079	0,2661	11,5	3,758	14,13
0,06918	0,2630	11,6	3,802	14,45
0,06761	0,2600	11,7	3,846	14,79
0,06607	0,2570	11,8	3,890	15,14
0,06457	0,2541	11,9	3,936	15,49
0,06310	0,2512	12,0	3,981	15,85
0,06166	0,2483	12,1	4,027	16,22
0,06026	0,2455	12,2	4,074	16,60
0,05888	0,2427	12,3	4,121	16,98
0,05754	0,2399	12,4	4,169	17,38
0,05623	0,2371	12,5	4,217	17,78
0,05495	0,2344	12,6	4,266	18,20
0,05370	0,2317	12,7	4,315	18,62
0,05248	0,2291	12,8	4,365	19,05
0,05129	0,2265	12,9	4,416	19,50
0,05012	0,2239	13,0	4,467	19,95
0,04898	0,2213	13,1	4,519	20,42
0,04786	0,2188	13,2	4,571	20,89
0,04677	0,2163	13,3	4,624	21,38
0,04571	0,2138	13,4	4,677	21,88
0,04467	0,2113	13,5	4,732	22,39
0,04365	0,2089	13,6	4,786	22,91
0,04266	0,2065	13,7	4,842	23,44
0,04169	0,2042	13,8	4,898	23,99
0,04074	0,2018	13,9	4,955	24,55

P1:P2 (−)	E1:E2 (−)	dB	E1:E2 (+)	P1:P2 (+)
0,03981	0,1995	14	5,012	25,12
0,03890	0,1972	14,1	5,070	25,70
0,03802	0,1950	14,2	5,129	26,30
0,03715	0,1928	14,3	5,188	26,92
0,03631	0,1905	14,4	5,248	27,54
0,03548	0,1884	14,5	5,309	28,18
0,03467	0,1862	14,6	5,370	28,84
0,03388	0,1841	14,7	5,433	29,51
0,03311	0,1820	14,8	5,495	30,20
0,03236	0,1799	14,9	5,559	30,90
0,03162	0,1778	15	5,623	31,62
0,03090	0,1758	15,1	5,689	32,36
0,03020	0,1738	15,2	5,754	33,11
0,02951	0,1718	15,3	5,821	33,88
0,02884	0,1698	15,4	5,888	34,67
0,02818	0,1679	15,5	5,957	35,48
0,02754	0,1660	15,6	6,026	36,31
0,02692	0,1641	15,7	6,095	37,15
0,02630	0,1622	15,8	6,166	38,02
0,02570	0,1603	15,9	6,237	38,90
0,02512	0,1585	16	6,310	39,81
0,02455	0,1567	16,1	6,383	40,74
0,02399	0,1549	16,2	6,457	41,69
0,02344	0,1531	16,3	6,531	42,66
0,02291	0,1514	16,4	6,607	43,65
0,02139	0,1496	16,5	6,683	44,67
0,02188	0,1479	16,6	6,761	45,71
0,02138	0,1462	16,7	6,839	46,77
0,02089	0,1445	16,8	6,918	47,86
0,02042	0,1429	16,9	6,998	48,98
0,01995	0,1413	17,0	7,079	50,12
0,01950	0,1396	17,1	7,161	51,29
0,01905	0,1380	17,2	7,244	52,48
0,01862	0,1365	17,3	7,328	53,70
0,01820	0,1349	17,4	7,413	54,95
0,01778	0,1334	17,5	7,499	56,23
0,01738	0,1318	17,6	7,586	57,54
0,01698	0,1303	17,7	7,674	58,88
0,01660	0,1288	17,8	7,762	60,26
0,01622	0,1274	17,9	7,852	61,66
0,01585	0,1259	18,0	7,943	63,10
0,01549	0,1245	18,1	8,035	64,57
0,01514	0,1230	18,2	8,128	66,07
0,01479	0,1216	18,3	8,222	67,61
0,01445	0,1202	18,4	8,318	69,18
0,01413	0,1189	18,5	8,414	70,79
0,01380	0,1175	18,6	8,511	72,44
0,01349	0,1161	18,7	8,610	74,13
0,01318	0,1148	18,8	8,710	75,86
0,01288	0,1135	18,9	8,811	77,62
0,01259	0,1122	19,0	8,913	79,43
0,01230	0,1109	19,1	9,016	81,28
0,01202	0,1096	19,2	9,120	83,18
0,01175	0,1084	19,3	9,226	85,11
0,01148	0,1072	19,4	9,333	87,10
0,01122	0,1059	19,5	9,441	89,13
0,01096	0,1047	19,6	9,550	91,20
0,01072	0,1035	19,7	9,661	93,33
0,01047	0,1023	19,8	9,772	95,50
0,01023	0,1012	19,9	9,886	97,72
0,01000	0,1000	20,0	10,000	100,00
10^{-3}		30		10^{3}
10^{-4}	10^{-2}	40	10^{2}	10^{4}
10^{-5}		50		10^{5}
10^{-6}	10^{-3}	60	10^{3}	10^{6}
10^{-7}		70		10^{7}
10^{-8}	10^{-4}	80	10^{4}	10^{8}
10^{-9}		90		10^{9}
10^{-10}	10^{-5}	100	10^{5}	10^{10}

Ovviamente, anche in questo caso occorre rispettare la posizione, a seconda che il rapporto stesso sia maggiore o minore di 1.

La tabella è reversibile. Noto infatti il valore in decibel (sia di attenuazione che di amplificazione), è altrettanto facile individuare il rapporto di potenza o di tensione che ad esso corrisponde, invertendo il procedimento.

Allorché si deve calcolare il rapporto corrispondente ad un valore in dB che non figura nell'elenco, viene sfruttata la caratteristica dei logaritmi secondo la quale « il prodotto di due numeri corrisponde alla somma dei rispettivi logaritmi, ed il quoziente di due numeri alla differenza tra i logaritmi stessi ».

Supponiamo — ad esempio — di dover calcolare il rapporto di potenza corrispondente a +22,5 dB, che non figura nella tabella. Tale valore equivale a +20 dB +2,5 dB. I rapporti corrispondenti sono 100 e 1,778. Il rapporto risultante sarà pertanto 100 × 1,778 = 177,8.

Il "dBm"

Abbiamo appreso il significato del decibel, e chiarito il concetto che esso non è una vera e propria unità, bensì un rapporto tra due grandezze. Noto il valore di queste ultime, anche il decibel diventa una quantità definita.

Esiste un'altra unità, chiamata « **dBm** » che rappresenta una quantità di valore definito.

Il suo impiego è assolutamente eguale a quello dei decibel.

Il « dBm » è, infatti, **un valore in decibel, riferito alla potenza di un milliwatt**: « zero decibel equivale ad 1 mW ».

In tal caso, è chiaro che 0,01 watt (pari a 10 mW) equivale a 10 dBm; 0,1 watt (100 mW) equivale a 20 dBm; 1 W (pari a 1000 mW) equivale a 30 dBm, e così via.

Per contro, 1 µW (pari ad un millesimo di mW), equivale a —30 dBm, ecc.

Come si nota, dal momento che esiste un riferimento ad una quantità definita, qualsiasi valore espresso in dBm può essere convertito direttamente in watt, e, noto il valore della resistenza, o comunque del carico nel quale tale potenza viene dissipata, è facile ricavare i valori corrispondenti in volt ed in ampère.

Per convenzione, si è stabilito che « **0 dBm = 1 mW su 600 ohm** ».

Ciò significa che misurando una potenza di uscita ai capi di un carico di 600 ohm, il valore della potenza misurata è di 1 mW se l'indice si ferma sul valore 0 dB.

Dal momento che $P = E^2 : R$, sostituendo i valori noti in questa eguaglianza avremo che:

$0{,}001 = E^2 : 600$ (0,001 W = 1 mW)
da cui $E^2 = 0{,}001 \times 600 = 0{,}6$
da cui $E = 0{,}775$ volt.

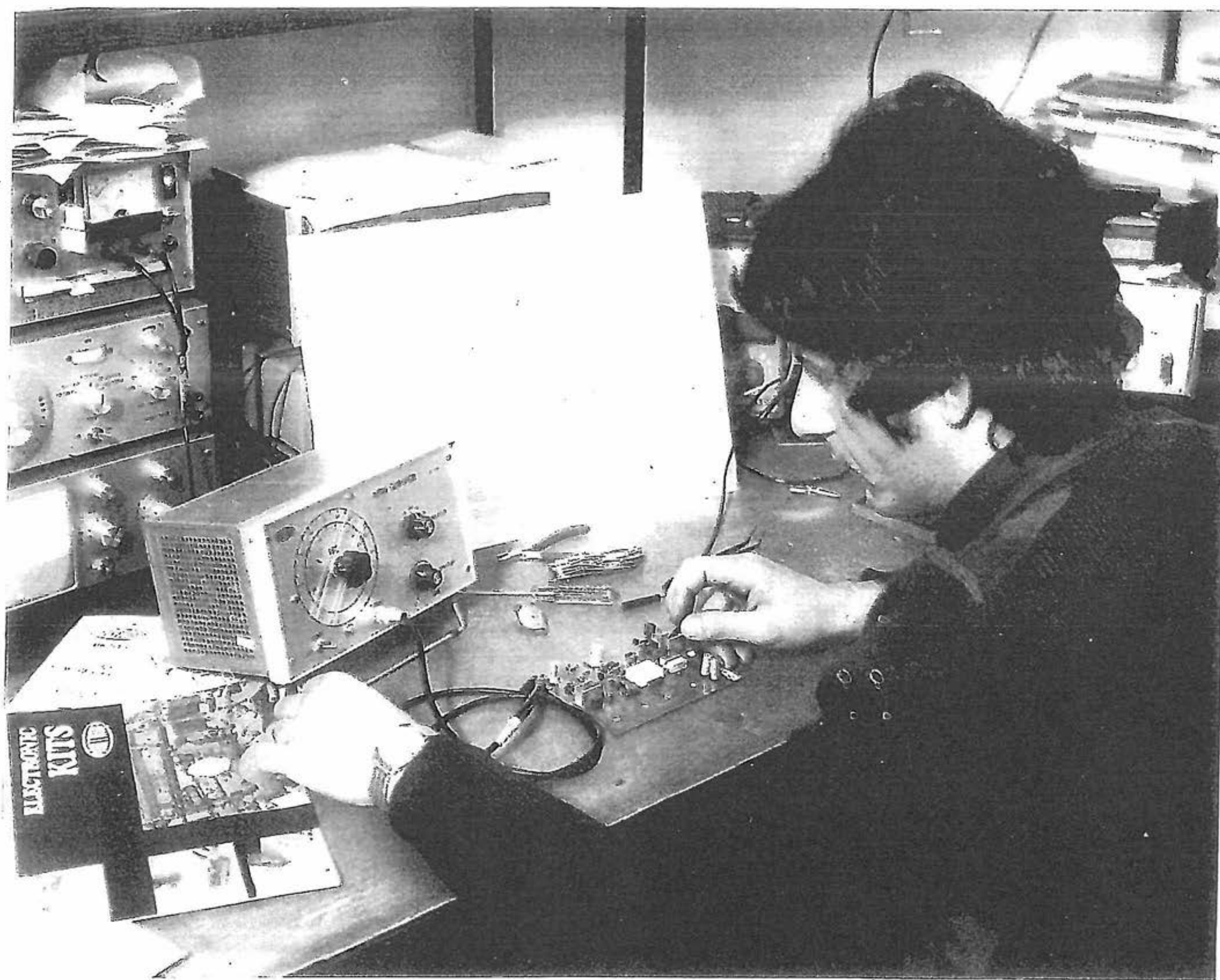
Simboli - Abbreviazioni

d.d.p. = differenza di potenziale
f.e.m. = forza elettro motrice
H = quantità di calore in Joule
I = corrente (in µA, mA, A)
J = Joule, unità di misura del lavoro termico
kV = chilovolt = 1.000 volt
kΩ = chilo ohm = 1.000 ohm
$\log_{10}$ = logaritmo in base 10
mA = milliampere = 1/1.000 di ampere
mV = millivolt = 1/1.000 di volt
MΩ = Megaohm = 1.000.000. di ohm
Ohm = unità di resistenza
Q = Coulomb, unità della quantità di elettricità
R = resistenza (in µohm, ohm, kohm, Mohm)
t = unità di tempo in secondi
V = tensione in µV, (mV, V, kV)
W = watt — unità di potenza dissipata
+ = Segno positivo
— = Segno negativo
µ = (mu) Micro = 1/1.000.000 dell'unità che segue
µµ = (mu mu) Micro-micro = 1/1.000.000 di µ
Ω = (omega) Ohm
Ah = Ampèrora
CV = Cavallo vapore = 736 watt
E = Tensione (in volt, mV, ecc.)
G = Conduttanza in mho
HP = Horse Power = Cavallo inglese = 746 W
kWh = kilowattora = 1.000 watt per ora
mho = Unità di conduttanza
Mwh = Megawattora = 1.000 kwh
P = Potenza (in watt)
Wh = Wattora = 1 watt per ora = 3.600 j
X = Asse orizzontale nei grafici
Y = Asse verticale nei grafici
µmho = Micromho = 1/1.000.000 di mho
℧ = Simbolo di mho
A = Area (superficie)
B = Densità del flusso magnetico
F = Forza magnetica (in gilbert)
f.m.m. = Forza magnetomotrice
H = Intensità della forza magnetizzante in rapporto alla lunghezza del circuito magnetico
l = Lunghezza
N = Numero delle spire di un avvolgimento (a volte, « n »)
N = Polo Nord di un magnete
P = Permeanza
R = Riluttanza magnetica (espressa in rel)
S = Polo Sud di un magnete

L'ELETTRONICA

IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

Corrente alternata 7



Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - —70% - Lire 750

La corrente alternata

La corrente alternata non è che una corrente elettrica che scorre dapprima in una data direzione — per un determinato tempo — e quindi in senso opposto, per un altro, determinato, tempo.

A differenza della corrente continua (**figura 1 G** sopra), la quale raggiunge un certo valore o ampiezza in breve e la mantiene per tutto il tempo in cui il circuito rimane chiuso, la corrente alternata cambia continuamente la sua ampiezza, riassumendo, secondo un andamento ciclico, valori di ampiezza precedentemente toccati.

Partendo dal valore zero, essa raggiunge il suo massimo valore nella direzione positiva per poi tornare a zero (ossia al punto in cui la corrente cessa di scorrere), dopo di che scende al massimo valore nella direzione negativa, per poi tornare nuovamente a zero, (**figura 1 G** sotto).

Per questo motivo si dice che la corrente alternata è una corrente che varia continuamente di ampiezza (assumendo cioè tutti i valori intermedi interposti tra il massimo positivo ed il massimo negativo), e che varia periodicamente, ossia ad intervalli regolari.

Il lettore non è nuovo a questo concetto: egli ricorderà certamente quanto si è visto, addirittura alla prima lezione, in merito alle oscillazioni, sia di natura meccanica che di natura elettrica. Tali oscillazioni (quelle elettriche) sono appunto espressioni — è superfluo dirlo — di corrente alternata, a frequenza (inversione di polarità) elevata.

Sebbene la corrente continua sia stata la prima ad essere diffusa e conosciuta nelle sue caratteristiche, le sue applicazioni per l'alimentazione diretta degli apparecchi elettrici e dei circuiti elettronici sono limitate; viene usata soltanto in determinate circostanze e cioè con ricevitori o trasmettitori portatili, apparecchi a transistori, ecc. ove è generata direttamente da pile. D'altro canto, le caratteristiche della corrente alternata non furono perfettamente comprese che verso la fine del secolo scorso, per cui il suo impiego come sorgente di energia costituisce il campo di sviluppi relativamente recenti.

A tutta prima la corrente continua — intendiamo riferirci alle applicazioni industriali — parve avere una maggiore versatilità che non la corrente alternata, tuttavia, ben presto si rese evidente il fatto che la corrente continua presentava certi svantaggi che non rientravano invece nelle caratteristiche della seconda. Ecco i principali inconvenienti.

1) La corrente continua non può essere portata a lunga distanza senza una considerevole perdita di potenza. Infatti, la resistenza totale dei cavi presenti tra il punto di origine e quello di utilizzazione dissipa la maggior parte della potenza in calore, prima che la corrente arrivi a destinazione.

Per contro, la corrente alternata può essere portata a lunga distanza senza perdite apprezzabili — sotto forma di alta tensione e bassa corrente — sulle linee di alta tensione oggi familiari, per essere poi trasformata sul posto di utilizzazione in tensione e corrente adatte per l'impiego nelle case e nelle fabbriche.

2) La corrente continua non può essere irradiata da un'antenna. E qui ci richiamiamo ancora ai concetti già esposti per illustrare le onde elettromagnetiche, la loro generazione nei circuiti oscillatori e la trasmissione e ricezione radio.

L'intero sviluppo della scienza delle radiotrasmissioni, secondo l'attuale conoscenza, dipende evidentemente dall'attitudine da parte della corrente alternata ad essere irradiata nello spazio da un'antenna e ad essere proiettata a grande distanza sulla superficie della terra.

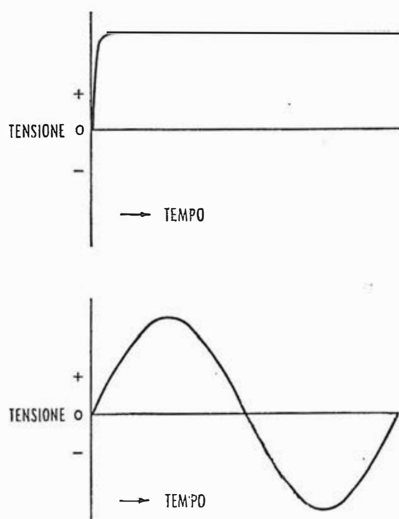


Fig. 1 G - Attivando una sorgente di corrente continua si nota che la stessa raggiunge quasi istantaneamente la sua ampiezza e la mantiene.

Fig. 1 G - Attivando una sorgente di corrente alternata si ha per contro, un continuo, periodico cambio di ampiezza. La frequenza con la quale tale cambio avviene, può anch'essa mutare, come si osserva nella figura qui a fianco.





Fu presto chiaro come la corrente alternata rappresentasse una fonte di energia molto più comoda della corrente continua, specialmente in considerazione del fatto che essa può essere convertita nella seconda — ove opportuno — con una certa facilità.

La conversione della corrente continua in corrente alternata, sebbene altrettanto possibile, non è spesso né facile né conveniente.

Soltanto in questi ultimi tempi, grazie alla messa a punto di speciali semiconduttori e di particolari circuiti detti « convertitori statici c.c./c.a. », la suddetta trasformazione comincia ad assumere aspetti pratici di conveniente utilizzazione derivanti dalla possibilità di attuare dei rendimenti di conversione della potenza anche superiore al 90%.

Quanto sopra tuttavia, non significa che la corrente continua non presenti, anche industrialmente alcun interesse e sia, in altre parole, inutile: esistono casi, come vedremo, in cui essa è, se non l'unica, certamente la fonte di energia più adatta: ad esempio, nelle installazioni mobili sulle vetture e sugli aeroplani, ove la sorgente di energia è rappresentata dagli accumulatori, già dettagliatamente descritti nol nostro testo.

Induzione elettromagnetica

Il primo tipo di energia elettrica fu, come si è detto, la corrente continua, generata da pile o da batterie; nel 1819 H.C. Oersted, fisico danese, mentre effettuava esperimenti con detto tipo di corrente, scoprì incidentalmente che un conduttore percorso dalla corrente influenzava l'ago di una bussola e costituiva quindi, di per se stesso, un magnete.

Nacque così l'elettromagnete, in tal modo definito per distinguerlo dal magnete naturale o artificiale, ed è importante notare che, in entrambi i casi, le linee di forza magnetica e il campo magnetico circostante ad un conduttore percorso da corrente sono della stessa natura di quelle prodotte da un magnete naturale. Abbiamo già visto i fenomeni dell'elettromagnetismo.

La scoperta di Oersted rivelò che l'elettricità ed il magnetismo erano in stretti rapporti in quanto entrambi potevano essere impiegati per prodursi l'un l'altro, tuttavia, non fu che nel 1831, ossia dodici anni più tardi, che M. Faraday in Inghilterra, e G. Henry in America furono in grado di dimostrare che era possibile utilizzare un magnete per produrre in modo pratico la corrente elettrica. Ricordiamo in proposito quanto già esposto sul funzionamento della dinamo.

Faraday, nei suoi esperimenti, oggi classici, collegò un galvanometro sensibile ai capi di un avvolgimento, e trovò che quando un magnete veniva inserito nell'avvolgimento stesso, questo veniva percorso da corrente, e che quando lo si estraeva, si aveva un passaggio di corrente in senso opposto.

Inoltre, il passaggio di corrente si verificava soltanto mentre il magnete era in movimento, ossia quando le linee forza presenti intorno al magnete incrociavano i fili dell'avvolgimento.

Oltre a ciò fu dimostrata anche la condizione opposta, ossia: se si teneva fermo il magnete e si faceva muovere l'avvolgimento, si produceva il medesimo fenomeno.

In tal modo veniva prodotta per la prima volta la corrente alternata.

La **figura 2 G** illustra il principio nel caso di un conduttore singolo e delle espansioni polari di una calamita a ferro di cavallo.

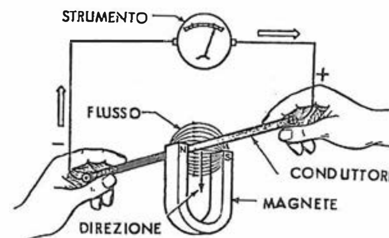


Fig. 2 G - Un conduttore mosso tra le espansioni polari di un magnete, vale a dire nell'ambito del suo flusso, viene percorso da una corrente che cambia di senso allorché il movimento in questione è attuato in senso opposto: si genera così una corrente « alternata ».

Forza motrice indotta

Si è trovato che la tensione o forza elettromotrice (f.e.m.) prodotta è tanto maggiore quanto maggiore è la velocità del movimento ed anche quanto maggiore è l'intensità del campo magnetico.

Da tali osservazioni è facile concludere che l'ammontare della f.e.m. prodotta dipende dal numero delle linee magnetiche tagliate dal conduttore dell'avvolgimento in una data unità di tempo — per cui — per aumentare la f.e.m., è necessario o aumentare la velocità del movimento o il numero delle linee di forza mediante l'impiego di un magnete più forte.

Ciò può essere riassunto dalla seguente legge: **la f.e.m. indotta in un conduttore mobile è proporzionale al numero delle linee magnetiche di flusso tagliate in un minuto secondo dal conduttore.**

Per esprimere la f.e.m. in volt, ossia in unità pratica di misura, invece che in unità del sistema elettromagnetico c.g.s. (centimetro-grammo-secondo) è necessario moltiplicare il numero delle linee di forza per il fattore 10^{-8}, come dalla seguente formula:

$$\text{f.e.m. (in volt)} = \text{linee tagliate al secondo} \times 10^{-8}$$

« Primo esempio ». Supponiamo che i poli del magnete della **figura 3 G** producano una densità di flusso di 10^9 linee per centimetro quadrato,

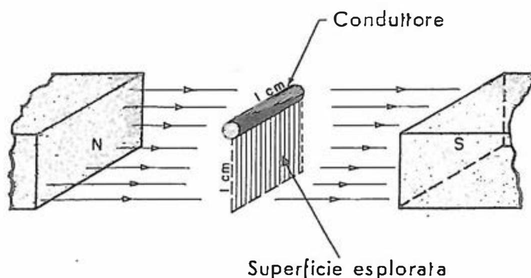


Fig. 3 G - Se il conduttore è lungo 1 cm e si muove verticalmente verso il basso alla velocità di 1 cm al secondo, descrive una superficie di 1 cm (zona tratteggiata) che è attraversata dalla linee di forza del magnete.

che il conduttore abbia la lunghezza di un centimetro e si muova verticalmente verso il basso, alla velocità di un centimetro al secondo.

La tensione indotta nel conduttore può essere calcolata come segue:

1) la superficie descritta dal conduttore, ad angolo retto rispetto alle linee di forza, in un secondo, corrisponde al prodotto della lunghezza del conduttore per la lunghezza del percorso, ossia, nel nostro caso, ad 1 cm²; tale area è quella tratteggiata nella figura.

Il numero di linee che la attraversano è dato dal prodotto della superficie per il numero delle linee per cm², ossia

$$1 \text{ cm}^2 \times \frac{10^9 \text{ linee}}{\text{cm}^2} = 10^9 \text{ linee}$$

quindi 10^9 linee tagliate in un secondo dal conduttore;

2) la tensione « e » indotta nel conduttore è data da

$$\text{« e »} = \frac{10^9 \text{ linee}}{\text{sec}} \times 10^{-8} = 10 \text{ volt}$$

Dal punto di vista meccanico è scomodo produrre una corrente alternata muovendo un magnete rispetto ad una bobina o viceversa, ma si può già realizzare un semplice generatore di corrente alternata « facendo ruotare » un avvolgimento, di un'unica spira, in un campo magnetico fisso: in tal modo è possibile un movimento continuo e uniforme.

La direzione della f.e.m. indotta si inverte col girare della spira, in quanto, « quando il conduttore si muove in una data direzione, la tensione indotta ha un senso », e, « non appena si muove in direzione opposta si inverte il senso della tensione indotta ».

Tuttavia, prima di considerare un metodo per determinare la direzione di tale f.e.m. indotta è necessario fare un riferimento agli effetti dovuti alla rotazione della bobina nei riguardi dell'ampiezza.

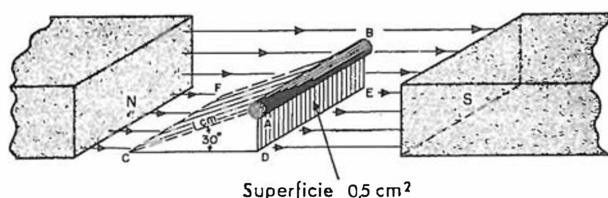


Fig. 4 G - Se il conduttore si sposta in senso obliquo anziché verticale, il numero di linee di forza tagliate è minore: per un angolo di 30°, come si vede, la superficie si riduce alla metà rispetto a quella indicata nella figura precedente.

L'esempio che segue illustrerà il fatto che il conduttore mobile taglia un numero maggiore di linee magnetiche muovendosi ad angolo retto rispetto ad esse che non quando si muove in direzione obliqua.

« Secondo esempio ». Supponiamo che il medesimo conduttore impiegato nel primo esempio venga ora mosso con la medesima velocità di 1 cm al secondo, ma in direzione tale da formare un angolo di 30° rispetto alle linee magnetiche (**figura 4 G**).

Troviamo la f.e.m. indotta nel conduttore.

L'area percorsa dal conduttore in 1 secondo è tratteggiata nella figura, ed è eguale al prodotto tra la lunghezza del conduttore stesso e la lunghezza dello spostamento, ossia ancora 1 cm². Le linee di flusso che attraversano tale area vengono tagliate dal conduttore in 1 secondo, ma è evidente, osservando la figura, che il numero di linee tagliate è ora inferiore a quello delle linee tagliate col movimento verticale.

Il numero massimo di linee intersecate si ottiene infatti quando il conduttore si muove verticalmente, dall'alto in basso o viceversa.

Per trovare la tensione indotta con uno spostamento a 30°, è necessario trovare il numero delle linee tagliate in 1 secondo, e ciò può essere fatto nel modo seguente:

1) Anzitutto costruire il triangolo rettangolo ACD come mostrato nella figura 4 G. L'ipotenusa di tale triangolo, AC, ha la lunghezza di 1 centimetro in quanto costituisce lo spostamento noto e stabilito per il nostro esempio e così è anche per l'angolo che è di 30°.

Dallo studio della trigonometria si apprende che la lunghezza del lato AD può essere ottenuta come segue:

$$\text{Sen } 30^\circ = AD : AC$$

Dalle tavole trigonometriche si rileva che Sen 30° è eguale a 0,5

$$\text{per cui } 0{,}5 = AD : AC$$

Sostituendo il valore noto di 1 centimetro per il lato AC otteniamo:

$$0{,}5 = AD : 1 \text{ cm}$$

e moltiplicando in croce:

$$0{,}5 \times 1 \text{ cm} = AD$$

$$\text{da cui } AD = 0{,}5 \times 1$$

$$\text{ossia } AD = 0{,}5 \text{ cm.}$$

2) Costruire ora il rettangolo ABED facendo in modo che BE sia parallelo con AD, e ne abbia la medesima lunghezza, e che DE sia parallelo ed opposto ad AB (figura 4 G).

In tal modo abbiamo un rettangolo della lunghezza di 1 centimetro e della larghezza di 0,5 cm, per cui l'area equivale a 1 × 0,5, ossia 0,5 cm².

3) Dall'esame della figura, appare evidente che tutte le linee di forza che attraversano il quadrato ABFC, provengono dal rettangolo ABED, per cui il numero delle linee di forza tagliate dal conduttore equivale a quello che attraversa l'area di 0,5 cm².

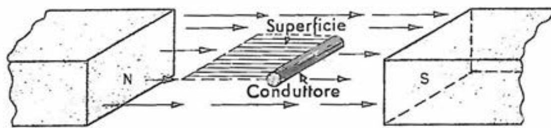


Fig. 5 G - Se gli spostamenti avvengono in senso orizzontale, non viene tagliata alcuna linea e non si produce, di conseguenza, alcuna corrente nel conduttore.

4) Il numero di linee di forza che attraversano l'area ABED è dato dal prodotto della superficie in cm^2 per il numero di linee per cm^2, ossia

$$\frac{0{,}5\ cm^2 \times 10^9\ \text{linee}}{cm^2} = 0{,}5 \times 10^9 = 5 \times 10^8\ \text{linee}$$

5) La tensione indotta nel conduttore è quindi:

$$5 \times 10^8\ \text{linee} \times 10^{-8} = 5\ \text{volt}$$

in cui 10^{-8} è il fattore di moltiplicazione, come abbiamo già visto, usato per convertire in volt la f.e.m. indotta.

Da quanto detto, si nota che la tensione indotta in un conduttore che si muove verticalmente attraverso le linee di forza è maggiore di quella indotta nel medesimo conduttore che si sposta in direzione formante un angolo di 30° rispetto a quella delle linee stesse.

Si può anche facilmente comprendere ora che la f.e.m. indotta in un conduttore che si muove in direzione parallela al campo magnetico è zero. A questo proposito si osservi la **figura 5 G.**

Appare evidente che, se il conduttore si muove in direzione parallela al campo magnetico, l'area descritta in direzione perpendicolare al campo è nulla, in quanto l'intera area descritta è parallela al campo, il che significa evidentemente che nessuna linea viene tagliata, per cui nessuna tensione viene indotta.

Possiamo, a questo punto, determinare una formula generale che dà un aspetto pratico a tutti i fenomeni descritti sin qui, e che permette di calcolare l'ampiezza della f.e.m. indotta in un conduttore avente lunghezza « l », che si muove con velocità «v », e che si sposti in una direzione formante con quella delle linee di flusso l'angolo « Φ ».

La densità di flusso del campo magnetico attraverso il quale il conduttore si muove ha il valore « B », corrispondente al numero delle linee di forza per cm^2.

La **figura 6 G** illustra tali quantità.

$$e = B \times l \times v \times \text{Sen}\ \Phi \times 10^{-8}$$

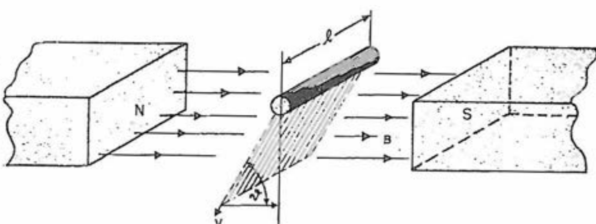


Fig. 6 G - Gli elementi della formula che consente di calcolare la f.e.m. indotta sono: la densità del flusso magnetico, la lunghezza del conduttore, la sua velocità di movimento e l'angolo di taglio delle linee di forza.

dove:

e = f.e.m. indotta in volt
B = densità di flusso in linee per cm^2
l = lunghezza del conduttore in cm
v = velocità del conduttore in cm/sec.
Sen Φ = angolo del movimento del conduttore rispetto alla direzione delle linee (*).

★ ★ ★

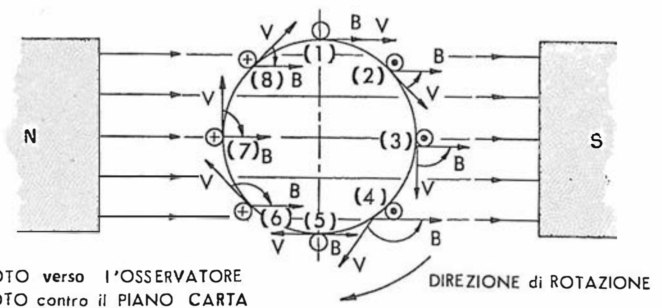
Riassumendo quanto detto in merito all'ampiezza della f.e.m. indotta in un conduttore che ruota in un campo magnetico, è possibile trarre le seguenti conclusioni:

1) la f.e.m. indotta ha il suo valore massimo quando il conduttore taglia le linee magnetiche a 90° (Sen 90° = 1).

2) la f.e.m. indotta a zero quando il conduttore si muove parallelamente alle linee (Sen 0° = 0).

3) se il conduttore si muove in una direzione che non è né perpendicolare né parallela alle linee magnetiche, la f.e.m. indotta dipende dal senso dell'angolo che la direzione del movimento (detta « vettore velocità ») del conduttore forma con le linee magnetiche; la **figura 7 G** mostra tale angolo per otto posizioni durante un'unica rotazione.

Fig. 7 G - Se il conduttore ruota in un campo magnetico costante, la f.e.m. in esso indotta varia di ampiezza a seconda dell'angolo presente tra la direzione di moto e le linee di forza. Il senso della corrente è verso l'osservatore dalla posizione (1) alla (5), e verso il piano della pagina dalla (5) alla (1).



4) qualsiasi aumento, sia dell'intensità del campo magnetico, sia della lunghezza del conduttore o della sua velocità di movimento nei confronti del campo stesso, provocherà un aumento della f.e.m. indotta.

La direzione della f.e.m. indotta in un conduttore può essere determinata a mezzo di semplici regole; una di queste, tra le più note, è la seguente.

Se il pollice, l'indice e il medio della mano destra vengono messi ad angolo retto tra di loro, in modo tale che il pollice indichi la direzione del movimento del conduttore e l'indice la direzione del campo magnetico, il medio indicherà la direzione della f.e.m. indotta, ossia la direzione del terminale positivo. Tale regola si chiama « regola di Fleming della mano destra ».

Alla figura 7 G si può osservare l'indicazione della direzione della f.e.m. indotta nella sezione trasversale di un conduttore rotante in un campo magnetico per diverse posizioni del conduttore stesso.

* Il valore di Sen Φ per qualsiasi angolo può essere ottenuto dalle tavole delle funzioni trigonometriche.

La velocità e la densità di flusso sono disegnate in ogni posizione sotto forma di vettori, e le frecce curve denotano la rotazione del vettore « V » verso il vettore « B ».

È importante notare che nelle posizioni di sinistra (lato del polo Nord), le f.e.m. indotte vanno tutte verso il senso del piano carta, mentre nelle posizioni di destra (lato del polo Sud), la direzione della f.e.m. è volta all'esterno rispetto a detto piano (verso l'osservatore).

Nelle posizioni 1 e 5 il conduttore si muove parallelamente al campo, e la f.e.m. generata è nulla, per cui non è indicata alcuna direzione.

La **figura 8 G** ci dà una più completa visione di quanto abbiamo testé visto nei riferimenti della figura 7 G.

Con la nuova figura possiamo ora renderci conto di come un assieme del genere possa costituire in realtà un vero e proprio generatore di corrente alternata che nel caso in esame viene detto a 2 poli ma, che si può presentare, in altre più complete esecuzioni, come vedremo, anche con 4 o più poli.

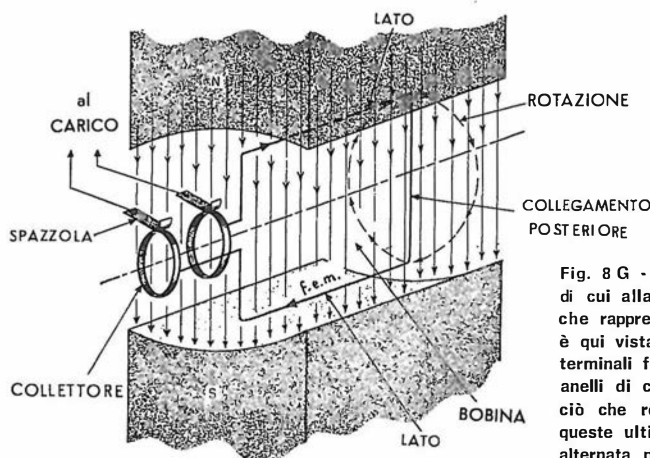


Fig. 8 G - La spira rotante di cui alla figura 7 G, che rappresenta una bobina, è qui vista in prospettiva. I suoi terminali fanno capo a due anelli di contatto con le spazzole, ciò che rende disponibile su queste ultime una corrente alternata prelevabile.

Il lettore ha già da tempo appreso nei riguardi delle oscillazioni il concetto di ciclo e periodo gli risulterà ovvio applicare tale concetto al fenomeno in esame.

La parola stessa, ciclo, indica una rotazione, e se consideriamo un punto di partenza qualsiasi della spira o conduttore, possiamo considerare come ciclo il percorso compiuto da detto punto per ritornare al suo stesso posto, dopo aver descritto l'intera circonferenza.

Se però consideriamo l'effetto del campo magnetico sul conduttore che, ruotando, descrive detta circonferenza, notiamo che la f.e.m. indotta assume vari valori compresi tra lo zero — corrispondente ai due punti in cui il movimento è parallelo al campo magnetico — ed il massimo in cui il movimento è perpendicolare, così come abbiamo precedentemente visto.

Partendo ad esempio dal punto (1) (**figura 9 G**) e ruotando verso sinistra, notiamo che la f.e.m. indotta inizia dal valore 0 in detto punto, raggiunge il valore massimo positivo nel punto (3),

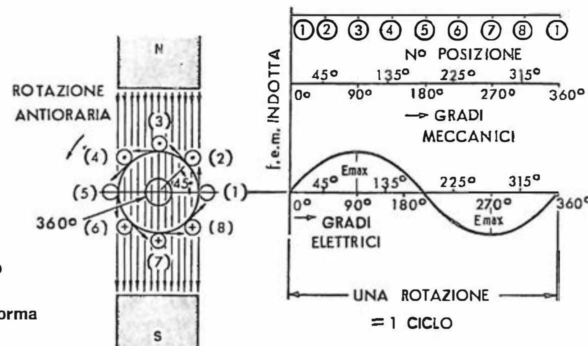


Fig. 9 G - Variazioni di ampiezza di una f.e.m. indotta in un conduttore rotante in senso antiorario tra due espansioni polari di un campo magnetico. Sono indicate le posizioni di rotazione in gradi ed è subito evidente che la tensione generata assume la classica forma di andamento sinusoidale.

ritorna a 0 nel punto (5), raggiunge il massimo valore negativo nel punto (7) e in ultimo torna nuovamente a 0 nel punto di partenza (1).

La figura 9 G illustra anche l'espressione grafica di tale fenomeno, mettendo contemporaneamente in evidenza la forma regolare della tensione generata in una rotazione completa con velocità costante. È la stessa forma, come si vede, che è stata riprodotta in figura 1 G.

Poiché una rotazione completa corrisponde ad un angolo di 360°, è facile dedurre che i vari punti costituenti il risultato dell'andamento, possono essere individuati esprimendo numericamente i gradi corrispondenti al punto di rotazione.

La figura o linea che riproduce l'andamento della tensione si chiama **sinusoide**, e rappresenta un ciclo completo o periodo; la linea orizzontale su cui sono riportati i valori in gradi e che corrisponde ai punti in cui la f.e.m. è zero, è detta « isoelettrica » e divide il ciclo in due parti eguali, di cui la parte superiore viene considerata positiva e la parte inferiore negativa.

Dette parti, come sappiamo già, si chiamano « semiperiodi » o « semicicli » o « semionde » in quanto ognuno di esse corrisponde alla metà di una intera rotazione, vale a dire di un periodo, o ciclo, o onda.

Quanto abbiamo detto si riferisce al funzionamento di un generatore a due poli, e permette di trarre le seguenti conclusioni:

1) la f.e.m. indotta in una bobina rotante in un campo magnetico è una f.e.m. alternata che varia col variare del senso e dell'angolo di rotazione, e viene denominata onda sinusoidale di tensione.

2) la f.e.m. raggiunge il valore massimo quando ogni lato dell'avvolgimento si trova in prossimità del centro di un polo.

3) la f.e.m. è zero quando ogni lato dell'avvolgimento si trova nello spazio che intercorre tra i poli.

4) la polarità della tensione indotta nel lato prossimo al polo Nord è opposta a quella della tensione indotta nel lato prossimo al polo Sud, per cui i valori si sommano formando tensioni di valore « doppio » di quello generato da un lato solo.

5) quando l'avvolgimento ha completato una rotazione meccanica la f.e.m. indotta ha completato un ciclo elettrico.

Abbiamo detto che la rotazione completa di un avvolgimento in un generatore a due poli corrisponde ad un ciclo elettrico; se l'avvolgimento ruota una sola volta al secondo, la frequenza della f.e.m. alternata è di un ciclo al secondo: 10 rotazioni al secondo darebbero una frequenza di 10 cicli al secondo, per cui si può concludere che « la frequenza non è altro che il numero di cicli in un secondo ».

In 10 rotazioni l'avvolgimento descrive 10 volte 360°, ossia 3.600° ogni secondo; detti gradi meccanici corrispondono ad altrettanti gradi elettrici nei confronti della tensione indotta, per cui deduciamo che, in un generatore a due poli, un grado meccanico equivale ad un grado elettrico.

Se il generatore ha 4 poli anziché i due sin qui considerati, qualsiasi punto che si trovi sulla circonferenza descritta nella rotazione viene a trovarsi 4 volte nella posizione corrispondente alla f.e.m. = 0, e 4 volte nella posizione corrispondente al valore massimo, per cui ogni rotazione determina due cicli completi: in altre parole, se la frequenza di rotazione meccanica corrisponde a 10 giri al secondo, la f.e.m. indotta in questo caso avrà una frequenza di 20 cicli al secondo (**figura 10 G**).

È ovvio che per un generatore a 6 poli, un grado meccanico equivale a 3 gradi elettrici, e che per un generatore a 8 poli si ha un rapporto di 1 a 4; ne deriva che per convertire i gradi meccanici in gradi elettrici, i primi devono essere moltiplicati per la metà del numero dei poli: 1° meccanico = P : 2 gradi elettrici.

Si deduce anche che la f.e.m. indotta avrà una frequenza di P : 2 cicli per ogni rotazione meccanica.

Generalmente il numero dei giri di un generatore è espresso in « g/m » ossia « giri al minuto » e se una bobina compie « N » giri al minuto, tale valore equivale a N : 60 giri al secondo, per cui il numero di cicli al secondo di una f.e.m. indotta equivale a N : 60 volte P : 2.

Dal momento che il numero dei giri è, per definizione, la frequenza del generatore, si ha:

$$f = \frac{P \times N}{2 \times 60} = \frac{P \times N}{120} \text{ cicli al secondo}$$

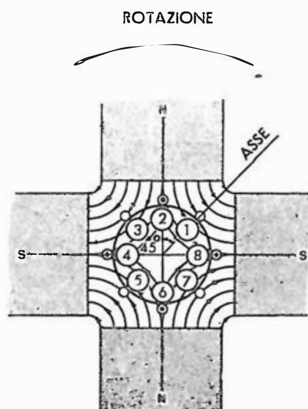
in cui:

f = frequenza della tensione generata
P = numero dei poli
N = giri al minuto.

È opportuno ora che il lettore sappia che i concetti espressi nei riferimenti della corrente alternata — in particolare quelli che seguono — sono validi indipendentemente dal tipo di generatore.

Intendiamo dire con ciò che la corrente alternata non viene prodotta esclusivamente da generatori rotanti, come quelli testé visti; specialmente in elettronica la corrente alternata che costituisce oggetto di applicazione è — come sappiamo — a frequenza estremamente più alta di quella prodotta dai generatori rotanti. Si ricorre allora, per la sua generazione, a circuiti oscillanti elettrici, che sfruttano ben noti componenti: la valvola termoionica ed il transistore.

In attesa di studiare tutto ciò, si tenga presente che d'ora in poi la parola generatore può quindi significare anche un oscillatore a radiofrequenza.



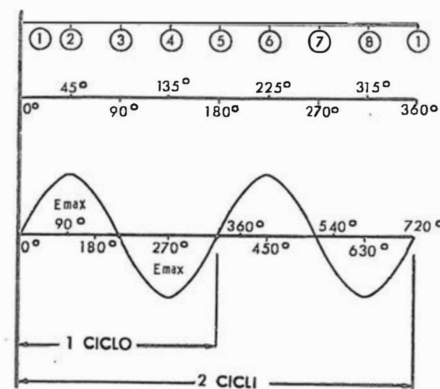


Fig. 10 G - Se le espansioni polari del campo magnetico sono quattro in luogo delle due che abbiamo sin qui considerate, in una rotazione intera di 360° si hanno due cicli completi della f.e.m. indotta in luogo di uno.

Valore istantaneo e di picco

Il valore istantaneo di un'onda di tensione sinusoidale è il valore della f.e.m. generata in ogni istante.

È necessario sapere che tutti i valori istantanei, sia della corrente che della tensione alternata, vengono generalmente indicati da lettere minuscole, mentre tutti i valori medi, efficaci e massimi sono indicati da lettere maiuscole; tale differenza è messa in evidenza dalla **figura 11 G.**

A 0° il valore istantaneo « e » della f.e.m. è 0: tra 0° e 90° il valore di « e » sale da 0 ad un massimo, a 90° raggiunge il massimo valore ed equivale alla tensione di picco ossia « E » (massimo), scritto E_{max}.

Tra 90° e 180° detto valore scende dal massimo a 0; nel successivo semiperiodo aumenta e diminuisce nel medesimo modo ma in direzione opposta, per cui la tensione istantanea varia continuamente durante un ciclo completo di 360° elettrici.

La tensione di picco E_{max} può quindi essere definita come punto di massima tensione istantanea, la quale può essere sia positiva che ne-

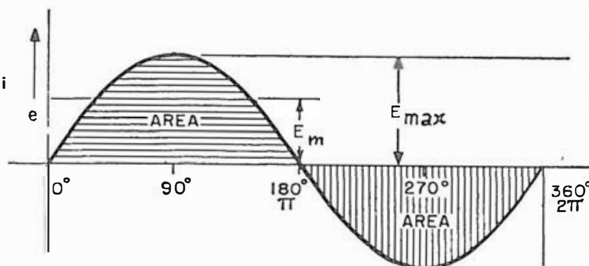


Fig. 11 G - Rappresentazione di un ciclo completo di un'onda di tensione alternata con andamento perfettamente sinusoidale. Si noti che nella rappresentazione di una corrente alternata si indicano con lettere maiuscole i valori « medi », « efficaci » e « massimi », e con minuscole i valori « istantanei ».

gativa. In una tensione esattamente sinusoidale il picco negativo è identico a quello positivo, sebbene i due valori siano di segno contrario.

Valore medio

Il valore medio di una tensione, o di una corrente, in un ciclo completo equivale a zero, in quanto la semionda negativa è eguale ed opposta a quella positiva (figura 11 G).

Tuttavia, il termine valore medio — quando viene applicato ad una tensione o ad una corrente alternata — si riferisce soltanto al valore medio di una sola semionda, o quella positiva o quella negativa, e, poiché le due forme geometriche sono identiche, lo sono pure le aree circoscritte.

Il valore medio di una funzione sinusoidale viene definito come il rapporto tra l'area circoscritta da un semiperiodo e la sua base. La base di un semiperiodo è 180° ossia equivalente ad una lunghezza di π radianti.

Allo scopo di calcolare la superficie di una simile figura geometricamente irregolare, essa deve essere suddivisa in una serie di piccoli rettangoli i cui archi possono essere determinati facilmente; la somma di tutte queste piccole superfici equivarrà, con una certa approssimazione, all'area del semiperiodo (vedere illustrazione del semiperiodo nella figura 11 G).

In tal modo si trova che l'area di un semiciclo di una curva sinusoidale equivale da $2\,E_{max}$, in cui E_{max} è il valore massimo della tensione; diversamente, detta area può essere eguagliata a $2\,I_{max}$, in cui I_{max} equivale al valore massimo della corrente.

Il valore medio può essere quindi definito mediante la seguente formula:

$$\text{valore medio tens.} = \frac{2\,E_{max}\ \text{(area semiperiodo)}}{\pi\ \text{(lunghezza della base)}} = \frac{E_{max}}{\pi : 2} = 0{,}637 \times E_{max}$$

$$\text{valore medio corr.} = \frac{2\,I_{max}\ \text{(area semiperiodo)}}{\pi\ \text{(lunghezza della base)}} = \frac{I_{max}}{\pi : 2} = 0{,}637 \times I_{max}$$

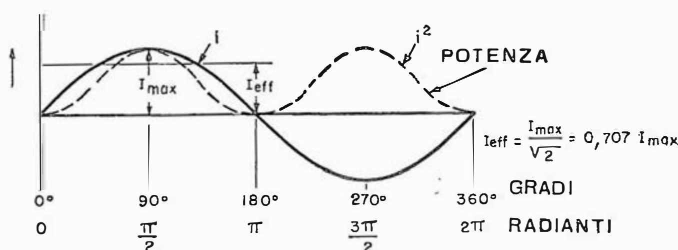


Fig. 12 G - La potenza sviluppata in un circuito elettrico percorso da una corrente alternata può essere rappresentata graficamente mediante una curva (quella tratteggiata in figura), le cui ondulazioni sono positive anche quando la direzione della corrente che fluisce nel circuito ha un andamento negativo.

Valore efficace

Potenza istantanea. Nello studio della corrente continua si è visto che la potenza dissipata in calore in una resistenza « R » è equivalente al quadrato della corrente moltiplicata per la resistenza, ossia $I^2 \times R$.

Quando però la resistenza è percorsa da una corrente alternata, la potenza dissipata non è costante durante tutto il ciclo in quanto la corrente varia assumendo tutti i valori intermedi, tuttavia la potenza assorbita dalla resistenza in ogni istante equivale al quadrato della corrente istantanea « i », moltiplicato per la resistenza, ossia $i^2 \times R$.

A questo punto è necessario notare che i^2 è sempre positivo, sebbene « i » possa essere un valore negativo, in quanto il quadrato di un numero negativo è sempre positivo e maggiore di zero.

Potenza equivalente. In conseguenza di quanto sopra, in un dato periodo di tempo, come ad esempio un semiperiodo, una certa quantità di energia viene fornita alla resistenza sotto forma di calore. Si può allora trovare un dato valore di corrente continua che scorra attraverso la medesima resistenza per il medesimo tempo, e produca una dissipazione di calore identica a quella prodotta dalla corrente alternata. Tale valore di corrente continua viene definito come valore equivalente di riscaldamento o « valore efficace » della corrente alternata.

La corrente efficace corrisponde all'area di un semiciclo di i^2 diviso per π, ossia alla radice quadrata del valore medio di i^2, noto come valore efficace.

La **figura 12 G** mostra la curva di i^2; come detto precedentemente, tutti i semiperiodi sono positivi.

Per trovare il valore efficace della corrente è necessario procedere come per trovare il valore medio. La corrente efficace equivale quindi al valore massimo I_{max} diviso per la radice quadrata di 2, mentre la tensione efficace equivale alla tensione di picco E_{max}, divisa per la radice quadrata di 2.

Il valore efficace può quindi essere espresso mediante le seguenti formule:

$$\text{val. effic. corr.} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{max}}{1{,}414} = 0{,}707\ I_{max}$$

$$\text{val. effic. tens.} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{max}}{1{,}414} = 0{,}707\ E_{max}$$

Si noti che il valore di corrente o di tensione indicato dai comuni strumenti di misura per c.a. è normalmente il valore efficace.

« Esempio n. 1 ». La tensione misurata ad una presa di corrente elettrica domestica è di 220

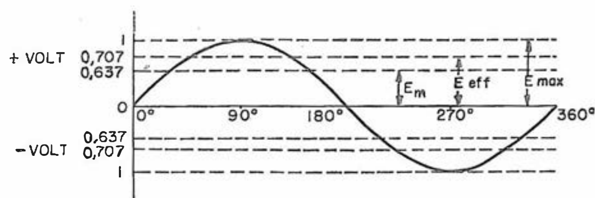


Fig. 13 G - Rappresentazione grafica che completa quella già vista in figura 11 G. Relazioni che intercorrono tra i valori « medio », « efficace » e « massimo » di una corrente alternata. I valori numerici che individuano le ordinate relative a posizioni nel tratto di curva al di sopra dell'asse delle ascisse (asse dei tempi) sono positivi, mentre quelli corrispondenti alle ordinate della curva che si trovano al di sotto dell'asse delle ascisse sono negativi.

volt: questo è il valore efficace. Qual è la tensione di picco e la tensione media?

$E_{eff} = 220$ volt

$E_{eff} = E_{max} \times 0{,}707$

$220 = E_{max} \times 0{,}707$

$$E_{max} = \frac{220}{0{,}707} = 311{,}17 \text{ volt appross. di picco}$$

oppure:

$E_{media} = E_{max} \times 0{,}637$

$E_{media} = 311{,}17 \times 0{,}637$

$E_{media} = 198{,}21$ volt

« Esempio n. 2 ». Un apparecchio elettrico a resistenza funziona con una corrente di 4 ampère (valore efficace). Qual è la corrente massima e la corrente media

$I_{eff} = 4$ ampère

$I_{eff} = I_{max} \times 0{,}707$

$4 = I_{max} \times 0{,}707$

$I_{max} = 4 : 0{,}707 = 5{,}65$ ampère = corr. massima

oppure:

$I_{media} = I_{max} \times 0{,}637$

$I_{media} = 5{,}65 \times 0{,}637$

$I_{media} = 3{,}59$ ampère = corrente media

Negli esempi precedenti, si può notare che la tensione di picco e la corrente massima in un circuito elettrico sono notevolmente più alte di quanto è il valore medio, sia di corrente che di tensione.

Per questo motivo, il circuito deve essere progettato in modo tale da essere in grado di sopportare tali valori, sebbene si tratti di valori istantanei e presenti soltanto due volte in ogni periodo.

La **figura 13 G** esprime, graficamente, le relazioni esistenti tra i valori dell'alternata sin qui citati.

Tempo

Come abbiamo spiegato in tema di generazione di un'onda sinusoidale, il tempo durante il quale si svolge un ciclo di corrente o di tensione alternata viene generalmente espresso in gradi elettrici.

Così si dice che 90° corrispondono ad un quarto di ciclo, e rappresentano un ammontare di tempo che dipende dalla frequenza della tensione, ossia dal numero di cicli al secondo.

Se la tensione considerata ha la frequenza di 50 cicli, un ciclo completo avviene in un cinquantesimo di secondo. Quindi 90° — vale a dire 1/4 di ciclo — rappresentano 1/4 della cinquantesima parte di un secondo, ossia il prodotto tra 1/4 e 1/50, corrispondente a 1/200° di secondo.

Si dice anche che « la fase » di questa tensione è di 90°, ossia un duecentesimo di secondo.

Per fase si intende perciò la differenza, nel tempo, tra qualsiasi punto di un ciclo e l'inizio del ciclo stesso.

L'inizio del ciclo corrisponde normalmente al punto in cui esso passa attraverso il valore 0, nella direzione positiva.

La definizione del concetto di fase, sebbene venga raramente usata quando ci si riferisce ad una sola tensione, è di immediata importanza pratica quando due o più tensioni o correnti alternate sono presenti nel medesimo circuito: in questo caso è necessario determinare la reciproca posizione nel tempo, relativamente ad ogni istante.

Anticipo e ritardo. Se due generatori di c.a. a 50 Hz vengono collegati al medesimo circuito, le due tensioni variabili aumentano e diminuiscono, ed invertono la loro direzione, contemporaneamente: in questo caso si dice che le due tensioni « sono in fase » (**figura 14 G**).

Se invece uno dei generatori viene azionato 1/200 di secondo dopo l'altro, le due tensioni non variano contemporaneamente, bensì con un intervallo di tempo definito che può essere espresso in gradi in quanto si tratta di una frazione di ciclo. In questo caso si dice che le due tensioni provenienti dai generatori sono state sfasate, e che la prima è in anticipo rispetto alla seconda (oppure che la seconda è in ritardo rispetto alla prima), di un numero di gradi che esprime la differenza di tempo, ossia, nel caso citato, di 90°.

La **figura 15 G** illustra tale fenomeno mostrando come la tensione « e2 » sia in ritardo rispetto ad « e1 », in quanto il punto di partenza della prima è 90° a destra della seconda. Nell'intervallo di tempo tra 180° e 270°, « e2 » è positiva ed « e1 » è negativa.

Si noti che l'asse « X » — detto asse del tempo — va da sinistra a destra, per cui ognuno dei punti che lo costituisce e che si trova a destra di un altro è in ritardo rispetto a quest'ultimo.

La **figura 16 G** mostra un esempio di due tensioni reciprocamente sfasate di 180°: entrambe

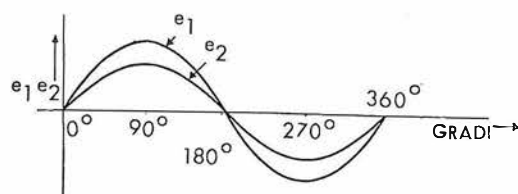


Fig. 14 G - Rappresentazione di due tensioni alternate (e1 ed e2) di eguale frequenza ma di diversa ampiezza, « in fase » tra loro. Come si può osservare, massimi e minimi coincidono sempre nel tempo (pari gradi); in altre parole questo significa che le due tensioni alternate, indipendentemente dalla loro massima ampiezza, aumentano e diminuiscono, ed invertono la loro direzione contemporaneamente, senza alcun ritardo di tempo dell'una rispetto all'altra.

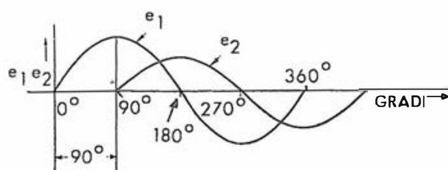
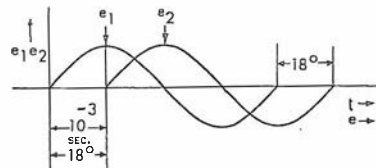


Fig. 15 G - Rappresentazione di due tensioni alternate di eguale frequenza, di diversa ampiezza reciprocamente sfasate di 90°. La tensione e_1 è detta in anticipo di 90° rispetto alla tensione e_2.

Fig. 17 G - Le tensioni alternate alla frequenza di 50 hertz, prodotte da due diversi generatori, sono sfasate di 18° se uno di essi entra in funzione un millesimo di secondo in anticipo rispetto all'altro.



raggiungono contemporaneamente i valori di 0 e di massima, ma « e1 » è in posizione opposta ad « e2 »; esse sono sempre di segno contrario in quanto quando una è positiva, l'altra è negativa.

Se tali tensioni sono di eguale valore o ampiezza e scorrono nel medesimo circuito, il valore risultante è zero in quanto le due tensioni

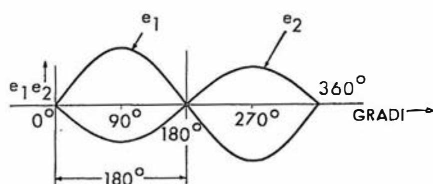


Fig. 16 G - Rappresentazione di due tensioni alternate di eguale frequenza, di diversa ampiezza, reciprocamente sfasate di 180°. Massimi e minimi coincidono, ma per polarità opposte.

si annullano completamente.

Se invece esse sono in fase, come detto precedentemente ed illustrato nella figura 14 G, la tensione risultante equivale alla somma delle due.

Per sfasamenti inferiori a 180°, la tensione risultante è la somma vettoriale delle due tensioni.

Differenza di fase. È importante notare che quando la differenza di fase tra l'inizio delle due tensioni citate precedentemente corrisponde ad un cinquantesimo di secondo, ossia ad un ciclo, le due tensioni « restano in fase », mentre una differenza di 1 ciclo ed 1/4, ad esempio, può essere espressa come una differenza della sola frazione del ciclo, ossia di 90° (90° = 1/4).

Ne consegue che, se la differenza di tempo è un numero intero multiplo di 1 ciclo, le tensioni sono in fase, mentre in qualunque altro caso la differenza di tempo viene espressa semplicemente come la parte frazionale di un singolo ciclo.

Inoltre, la differenza di fase è correntemente enunciata in gradi da 0° a 180°, in quanto qualsiasi angolo maggiore di 180°, ad esempio, 210° di anticipo del primo generatore, può essere espresso come una differenza di 150° di ritardo del secondo dato che, sempre, la somma dei due valori corrisponde a 360°.

Angolo di fase. Il tempo di ritardo, supponiamo di « e2 » (t° secondi), può essere convertito in un ritardo espresso in gradi elettrici mediante la seguente equazione:

gradi elettrici = t° (secondi) × frequenza × 360°

Ad esempio, se due generatori a 50 Hz vengono azionati con una differenza di 1 millisecondo, lo sfasamento in secondi equivale a 10^{-3}, per cui detto sfasamento in gradi elettrici equivale a 10^{-3} volte, 50 volte 360°, ossia 18°: si può dire che il generatore che viene azionato per secondo è in ritardo rispetto al primo di 18° (figura 17 G).

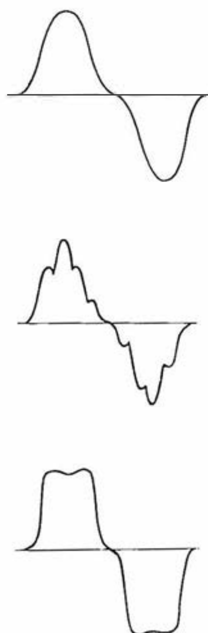


Fig. 18 G - La forma d'onda non sempre è sinusoidale; essa può subire deformazioni come l'aspetto delle onde qui riprodotte indica.

Rappresentazione grafica

Abbiamo visto che le correnti alternate si manifestano sotto forma di fenomeno periodico poiché, a periodi di tempo eguali, ripetono lo stesso andamento. Accenneremo brevemente, riepilogando nozioni già in parte esposte, ai vari metodi che consentono la rappresentazione delle grandezze periodiche. Essi sono fondati sull'impiego:

— delle coordinate cartesiane (metodo grafico);

— dei vettori (metodo grafico);

— delle funzioni e simboli complessi (metodo analitico);

— dei numeri e simboli complessi (metodo analitico).

Il metodo delle coordinate è il più semplice e il più comprensibile, ma non si presta per il caso di operazioni.

Sopra un asse orizzontale (ascisse) si segnano tanti tratti che rappresentano i tempuscoli successivi in cui si può dividere il periodo della grandezza alternativa, e per ciascuno di essi si segna una ordinata rappresentante il valore istantaneo della grandezza. I valori positivi vengono portati sopra l'asse delle ascisse, quelli negativi, sotto. Unendo i punti delle ordinate si ottiene la curva rappresentativa del fenomeno.

La **figura 18 G** rappresenta alcune curve caratteristiche di correnti alternate industriali. La forma differente dipende dalla costruzione degli alternatori e dagli apparecchi utilizzatori i quali introducono delle forze elettromotrici induttive e capacitive che tendono a deformare l'onda fondamentale più regolare, data dai generatori.

La curva più regolare di una corrente alternata, e che si ottiene facendo ruotare una spirale di filo conduttore in un campo magnetico uniforme, è la sinusoide, curva geometricamente e matematicamente ben definita.

Un esempio di tracciamento di fenomeno sinusoidale è illustrato in **figura 19 G.**

Si consideri un raggio OA di una circonferenza pari all'ampiezza di una corrente o di una f.e.m. (valore massimo in un semiperiodo) il quale ruoti con velocità uniforme in ragione di un giro per ogni periodo, ossia con un numero di giri al secondo pari alla frequenza. Sopra

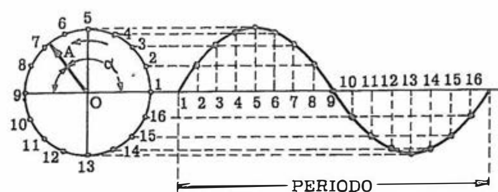


Fig. 19 G - Tracciamento di una forma d'onda sinusoidale col metodo delle coordinate cartesiane, relative ad un « vettore rotante ». Quest'ultimo può, da solo, dare le stesse indicazioni che dà la curva (ampiezza e fase).

l'asse orizzontale (assunto come asse dei tempi) si segnino tanti punti 1, 2, 3,... rappresentanti i tempi successivi che il punto A occupa girando sulla circonferenza.

Per ciascuno di questi punti si elevino ordinate pari alla proiezione sull'asse verticale del raggio OA nell'istante considerato.

La curva che unisce i punti delle ordinate rappresenta la sinusoide. Il raggio OA si dice « vettore rotante » e l'angolo che esso forma, « angolo di fase ».

Il vettore OA può sostituire idealmente la sinusoide; con il metodo vettoriale ogni grandezza alternativa relativa ad un determinato circuito o macchina elettrica, viene rappresentata da vettori uscenti da un centro comune O, di lunghezza proporzionale, in una data scala, alle rispettive ampiezze e distanziati fra loro angolarmente in ragione delle rispettive differenze degli angoli di fase.

I lettori che, in seguito, vorranno interessarsi di televisione, vedranno che con il sistema dei vettori di cui si è detto, viene illustrata — in modo assai accessibile — la teoria che sta alla base dei sistemi di trasmissione-ricezione a colori.

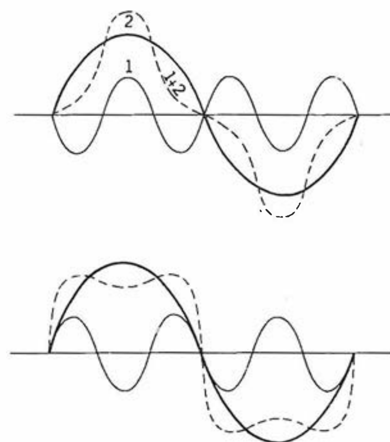


Fig. 20 G - Da onde non sinusoidali si può giungere ad un'onda sinusoidale detta « fondamentale » nonché ad altre sinusoidi con frequenza 3, 5, 7... volte quella della fondamentale (« armoniche »).

Quando l'andamento di una forza elettromotrice e di una corrente alternativa non è sinusoidale si hanno curve deformate.

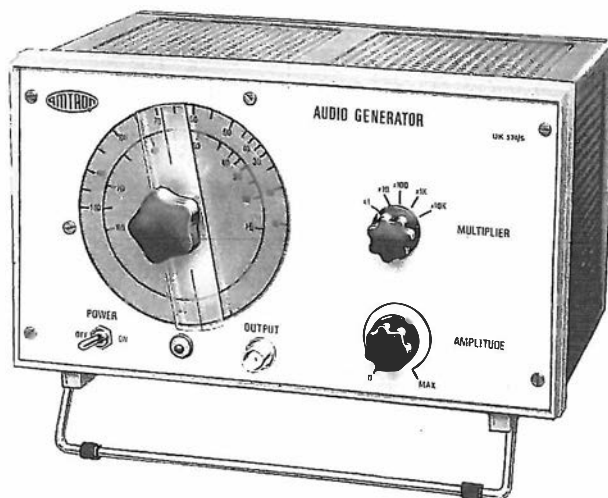
La teoria dimostra che queste curve si possono decomporre in una sinusoide fondamentale ed in altre sinusoidi sovrapposte aventi una frequenza 3, 5, 7... volte la fondamentale.

Queste correnti a maggior frequenza che danno luogo alla deformazione della frequenza fondamentale sono dette frequenze « armoniche ».

La **figura 20 G** riproduce due esempi grafici di fenomeno alternativo affetto da armoniche.

Un generatore di segnali sinusoidali per il laboratorio

1,5 volt di tensione sinusoidale per frequenze da 10 Hz a 800 kHz, in 5 sottogamme, con distorsione inferiore allo 0,4 %. Alimentato da rete. Può essere impiegato oltre che per le apparecchiature B.F. anche per la taratura di Media Frequenza dei ricevitori radio a modulazione d'ampiezza.



Il generatore di segnali a Bassa Frequenza è necessario in particolar modo in laboratorio se si provvede alla progettazione, alla messa a punto o alla riparazione di circuiti di amplificazione.

La possibilità di iniettare all'ingresso di un circuito sotto prova un segnale di frequenza nota, di ampiezza dosabile, e caratterizzato da una forma d'onda perfettamente sinusoidale, consente la più ampia varietà di misure e di controlli, specie se si dispone contemporaneamente di un voltmetro elettronico per corrente alternata, e di un oscilloscopio a raggi catodici.

Questo generatore dimostra che, contrariamente ad una diffusa opinione, la realizzazione di un generatore di segnali a Bassa Frequenza, di qualità elevata può essere effettuata abbastanza facilmente, e con spesa relativamente ridotta.

Le prestazioni e la praticità di impiego di

questo strumento di misura sono notevoli, tanto che permettono di qualificarlo nella categoria dei semi-professionali, nonostante il costo assai più modesto.

Un generatore di questo tipo si rivela di grandissima utilità soprattutto nelle seguenti occasioni:

— Controllo del responso alla frequenza di stadi singoli o di interi circuiti di amplificazione. Ciò che vuol dire, esame del comportamento per una ampia gamma di frequenza. Su quest'ultima non si devono verificare indesiderate attenuazioni o accentuazioni.

— Misura della distorsione armonica, vale a dire comportamento alle frequenze multiple di quella del segnale in esame.

— Misura della potenza di uscita di amplificatori di Bassa Frequenza.

— Misura della sensibilità di ingresso di amplificatori di Bassa Frequenza.

— Regolazione e messa a punto dei circuiti di equalizzazione di ingresso.

— Verifica delle curve di responso standard R.I.A.A. e NAB, per i circuiti di riproduzione rispettivamente predisposti per la lettura di dischi o di nastri preregistrati.

— Controllo delle caratteristiche di funzionamento di filtri (passa-alto e passa-basso).

— Controllo delle prestazioni dei circuiti per il controllo separato dell'attenuazione e dell'esaltazione delle frequenze alte e basse negli amplificatori ad alta fedeltà.

Grazie all'ampia gamma di frequenze, comprese tra il valore minimo di 10 Hz ed il valore massimo di 800 kHz, questo generatore può essere usato per la messa a punto ed il controllo di qualsiasi tipo di amplificatore, nonché per la taratura esatta dei circuiti di Media Frequenza nei ricevitori supereterodina funzionanti a modulazione di ampiezza.

La distorsione massima dei segnali disponibili in uscita ammonta allo 0,4 %; questa è un'altra prerogativa assai importante agli effetti della misura della distorsione.

Naturalmente, per poter sfruttare in tutti i modi possibili le prestazioni di questo generatore, è opportuna la disponibilità sul banco di lavoro anche di un millivoltmetro, di un commutatore elettronico, di un wattmetro per Bassa Frequenza e di un oscilloscopio a raggi catodici, con caratteristiche adatte al controllo di circuiti di Bassa Frequenza.

Esame del circuito

L'apparecchio funziona completamente a transistori, come si può riscontrare nello schema elettrico riprodotto a pagina 13 g.

L'intero circuito consiste in un ponte di Wien (**figura 21 G**), del quale fanno parte i semiconduttori Tr1 e Tr2, nonché i componenti ad essi associati, seguìto da uno stadio di amplificazione ad accoppiamento diretto, Tr3: questo sistema di accoppiamento è stato scelto evitando di inserire una capacità lungo il percorso di segnale, onde eliminare la presenza di una costante di tempo supplementare, che avrebbe compromesso il responso alla frequenza entro le estremità della gamma.

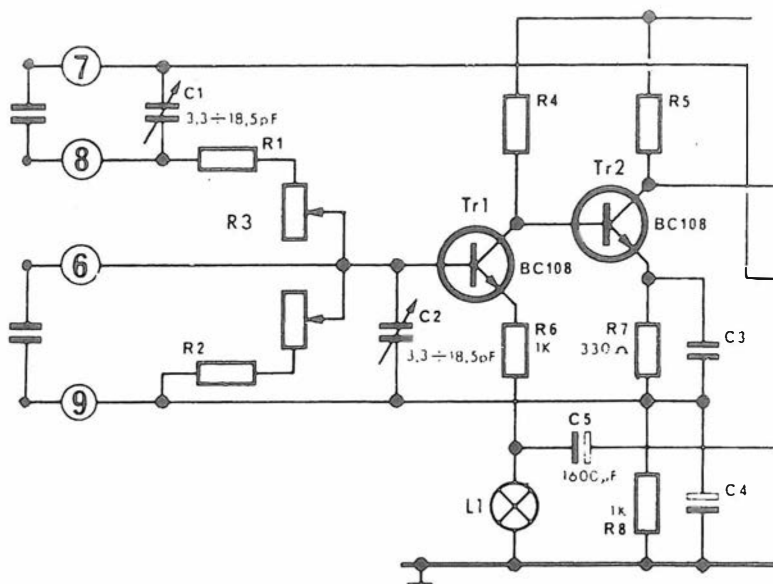


Fig. 21 G - L'oscillazione (generazione dell'onda) è effettuata ad opera dei due transistori Tr1 e Tr2 che formano parte di un circuito a ponte. Quest'ultimo con il valore dei componenti degli altri due bracci determina la frequenza mentre i transistori attuano lo spostamento di fase necessario, mediante ritorno reattivo, a provocare l'oscillazione.

Uno dei bracci del ponte di Wien è costituito dalla sezione superiore del doppio potenziometro R3, dal resistore R1, dalla capacità di compensazione C1, nonché dalle capacità C9, C11, C13, C15 e C17 (commutabili tramite due sezioni del commutatore rotante SW2, del tipo a quattro vie, cinque posizioni: **figura 22 G**).

Il secondo braccio è costituito invece dalla sezione inferiore del doppio potenziometro R3, dal resistore in serie R2, dalla capacità di compensazione C2, nonché dalle capacità C10, C12, C14, C16 e C18 (anch'esse commutabili tramite le altre due sezioni del commutatore rotante).

I suddetti due bracci del ponte di Wien formano sostanzialmente un quadripolo, consistente in due filtri, di cui uno predisposto per consentire il passaggio ai segnali di frequenza bassa, ed un secondo, predisposto invece per il passaggio dei segnali a frequenza elevata.

Il partitore di tensione costituito dai resistori R7 (330 Ω) ed R8 (1 kΩ) in parallelo ai quali sono presenti rispettivamente le capacità C3 e C4, si trova in serie all'emettitore di Tr2, e controlla la polarizzazione di base dei primi due stadi, ed in particolare la polarizzazione di base di Tr1, stabilizzandone il punto di lavoro lungo la curva caratteristica.

La reazione negativa è dovuta al fatto che il segnale di uscita viene prelevato in parte dall'emettitore di Tr3, e retrocesso alla base di Tr1, tramite il gioco di commutazione di SW2, ed anche tramite la capacità variabile C1, in modo da ottenere una normalizzazione della forma d'onda dei segnali prodotti (**figura 23 G**).

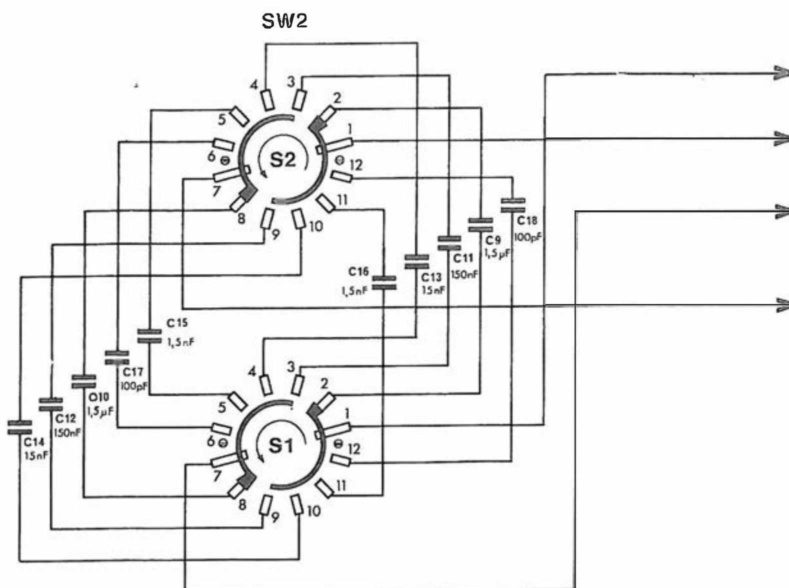


Fig. 22 G - Se nei bracci del ponte vengono inseriti valori diversi di capacità (pari tra loro) si possono avere campi di frequenza diversi dell'oscillazione. Il commutatore S1/S2 a comando unico costituisce pertanto il mezzo di variazione della gamma.

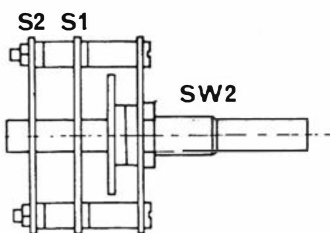
L'ampiezza delle oscillazioni viene mantenuta automaticamente costante grazie al comportamento non lineare della lampadina a filamento incandescente L1, collegata tra la massa e l'emettitore di Tr1, in serie al resistore R6.

Agendo opportunamente sul potenziometro semifisso R11 (470 Ω) è possibile variare l'intensità della corrente alternata che scorre attraverso la lampadina, tramite la capacità C5, in modo da conferire ai segnali prodotti una forma perfettamente sinusoidale.

Le eventuali variazioni di ampiezza del segnale provocano infatti una variazione dell'intensità della corrente che scorre attraverso L1, ed una corrispondente variazione della polarizzazione di base di Tr1, il che provoca un effetto esattamente opposto a quello che ha determinato in origine la variazione di ampiezza, per cui quest'ultima rimane sostanzialmente costante col variare della frequenza.

La combinazione in parallelo del resistore R9 (270 Ω) e del potenziometro semifisso R10 (470 Ω) costituisce il carico di collettore dello stadio finale Tr3.

Dal cursore del potenziometro semifisso R10, tramite la capacità elettrolitica C6 (1.000 µF) il segnale di uscita viene prelevato ed applicato ai capi dell'attenuatore di uscita di tipo potenziometrico, P1, del valore di 1.000 Ω.



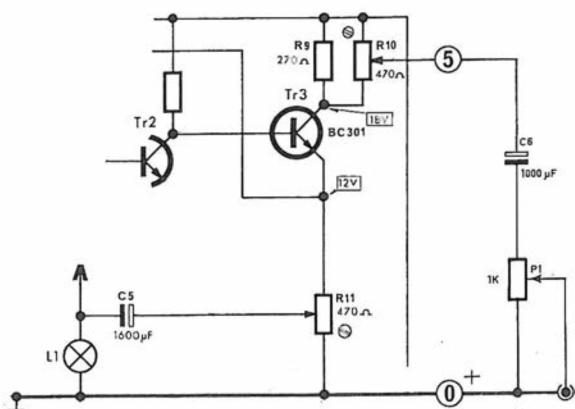


Fig. 23 G - L'oscillazione generata dal ponte viene amplificata a mezzo del transistore Tr3. L'uscita, prelevata dal collettore di quest'ultimo, tramite R10 viene prefissata al valore di 1,5 V. Dall'emettitore, il segnale (regolato per il giusto valore a mezzo di R11) con la fase dovuta ritorna al ponte ove provoca e mantiene l'oscillazione.

Il segnale di uscita propriamente detto risulta perciò disponibile al raccordo contrassegnato « Output », e può essere dosato opportunamente a seconda delle esigenze, variando la posizione del cursore di P1.

L'intero circuito viene alimentato tramite la corrente alternata di rete, con la sezione di alimentazione costituita dal trasformatore visibile in basso, dal rettificatore a ponte RP, e dalla cellula di filtraggio a « p » greco, costituito da C8, R15 e C7 (**figura 24 G**).

Il primario del trasformatore di alimentazione è costituito da due avvolgimenti separati, identici tra loro, entrambi predisposti per il funzionamento con una tensione alternata di rete di valore compreso tra 110 e 120 **V**. Quando questi due avvolgimenti vengono collegati tra loro in parallelo tramite il doppio deviatore a cursore SW1 (che rispetta le relazioni di fase tra i terminali) lo strumento viene predisposto per funzionare appunto con una tensione alternata di rete compresa entro i valori citati.

Quando invece il doppio deviatore a cursore viene spostato nell'altra posizione, i due avvolgimenti primari risultano collegati in serie tra loro: in tali condizioni, lo strumento risulta predisposto per funzionare con una tensione alternata di rete di valore compreso tra 220 e 240 **V**.

La lampada al neon in serie al resistore R16 risulta in parallelo ad una delle sezioni primarie, e serve da lampada spia.

In serie alla linea a corrente alternata sono infine presenti l'interruttore di accensione del tipo a leva (SW3) ed un fusibile da 0,1 A che protegge l'intero strumento contro eventuali cortocircuiti interni o sbalzi di tensione (**figura 25 G**).

La figura riproduce la struttura del commutatore rotante SW2, e mette in evidenza il fatto che il quadruplo gioco di commutazione viene ottenuto tramite due settori, differenziati nello schema elettrico, e precisamente S1, prossimo al meccanismo di scatto, ed S2 che si trova invece nella posizione più esterna.

Fatta eccezione per il commutatore SW2, per le capacità che ad esso fanno capo, nonché per il condensatore elettrolitico C6, presente nel circuito di uscita, tutti i componenti vengono installati su di una basetta a circuiti stampati, il che semplifica notevolmente il montaggio dello strumento.

Fasi del montaggio

Il generatore consta sostanzialmente di tre parti, e precisamente:

— Una basetta a circuiti stampati, sulla quale vengono sistemati per la maggior parte i componenti del circuito elettronico.

— Un pannello frontale che supporta la suddetta basetta a circuiti stampati e gli altri componenti esterni.

— Un involucro esterno, che contiene e protegge l'intero generatore.

Il montaggio dello strumento avviene attraverso le seguenti fasi:

— Allestimento del circuito stampato.
— Allestimento del pannello frontale.
— Collegamenti definitivi.
— Montaggio dell'involucro esterno.
— Preparazione del cavetto di prova.
— Collaudo e messa a punto.

Per semplificare il lavoro che deve essere svolto, ciascuna fase è stata suddivisa in diverse operazioni successive: ogni singola operazione è preceduta nel testo da una casella di questo tipo □.

Per evitare errori ed omissioni, è consigliabile applicare un segno con una « biro », preferibilmente di colore rosso, mano a mano che l'operazione viene eseguita. Con questo sistema, si potrà interrompere il lavoro quando lo desidera, e riprenderlo in qualsiasi istante, con la certezza assoluta di ricominciare nel punto esatto in cui lo si è sospeso.

Al termine delle operazioni di montaggio, sarà inoltre più facile eseguire un controllo accurato delle diverse operazioni, verificandole una alla volta, ed applicando in ciascuna casella di riferimento un segno con un diverso colore (ad esempio verde o blu), fino ad avere la certezza assoluta che ogni operazione sia stata svolta a regola d'arte.

Circuito stampato e pannello frontale

La **figura 26 G** rappresenta l'intera basetta a circuiti stampati, vista dal lato dei componenti, allo scopo di metterne in evidenza la posizione reciproca, grazie all'impiego delle medesime sigle di identificazione che sono state usate nello schema elettrico.

Il disegno riproduce però per « trasparenza » anche le connessioni stampate in rame sul lato opposto, per cui, confrontando questo disegno con lo schema elettrico, è possibile seguire perfettamente l'intero circuito elettronico.

La **figura 27 G** illustra due particolari di montaggio.

Per facilitare le operazioni di allestimento della basetta a circuiti stampati, converrà orientarla nel modo illustrato, facendo sì che l'unico angolo non tagliato si trovi in alto a sinistra.

Mantenendo questo orientamento, si potrà quindi procedere all'esecuzione delle operazioni dettagliatamente esposte nelle istruzioni che accompagnano il materiale.

Per le operazioni di montaggio del pannello

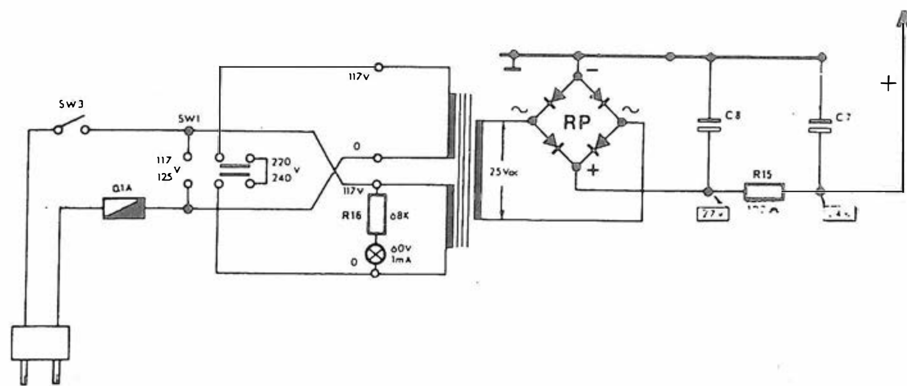


Fig. 24 G - All'alimentazione dell'apparecchiatura si provvede rettificando la corrente di rete con un ponte raddrizzatore al quale sono avviati 25 V di alternata forniti dall'apposito secondario del trasformatore. I condensatori C8 e C7 nonché il resistore R15 livellano la tensione rettificata il cui valore finale è di 24 V.

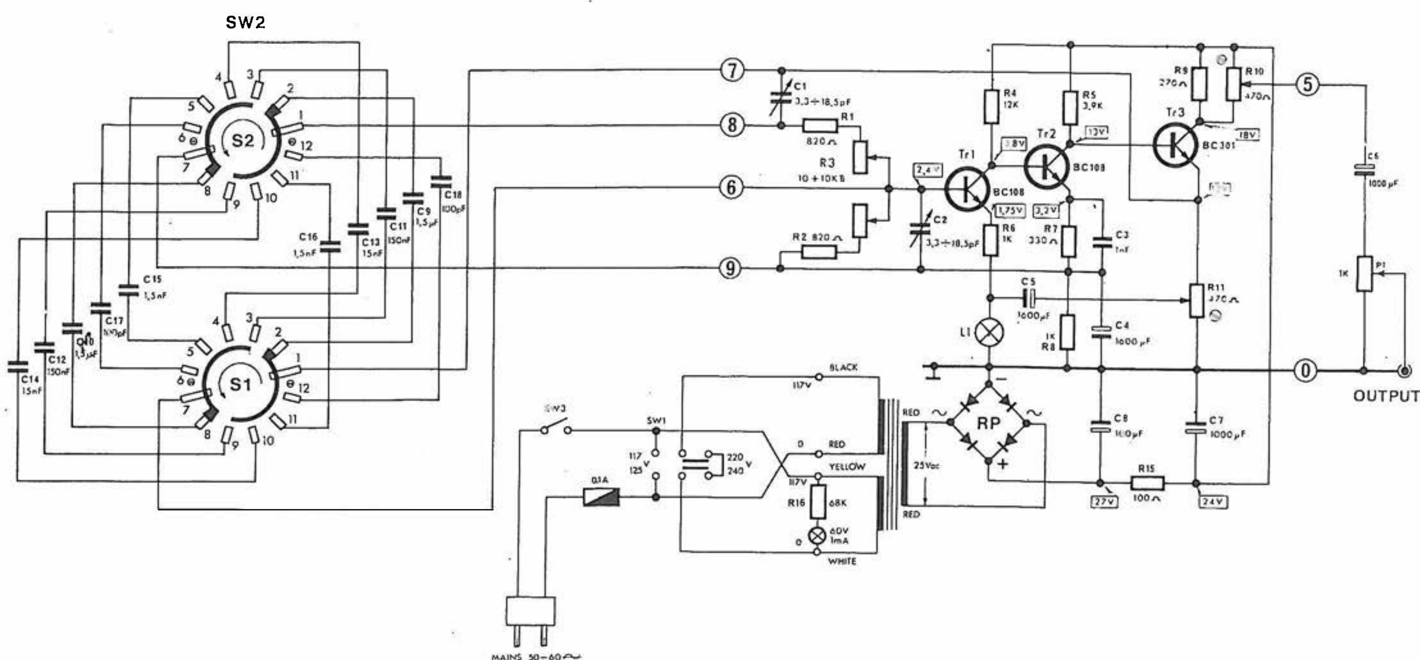


Fig. 25 G - I settori dell'apparecchiatura visti nella figura precedente formano con la loro unione lo schema completo qui sotto riprodotto. Questo generatore nell'assieme del materiale predisposto (kit) per la realizzazione dalla Amtron, prende la sigla UK 570/S.

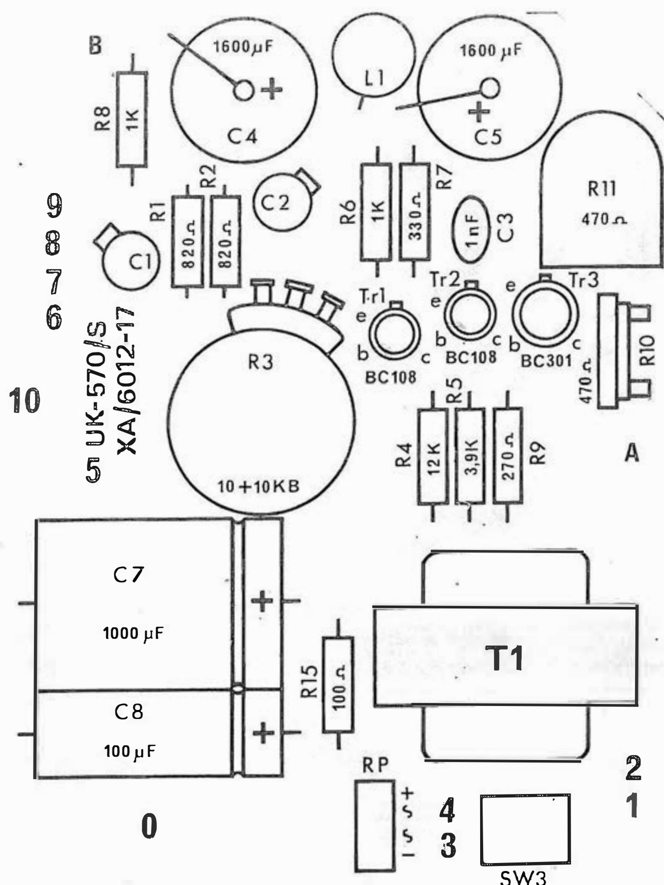


Fig. 26 G - Basetta con collegamenti stampati (in grigio) già pronti. Anche la foratura per il collocamento dei componenti è già effettuata e per questi ultimi vi è, stampato, il profilo periferico e la sigla di modo che non vi possono essere errori di interpretazione.

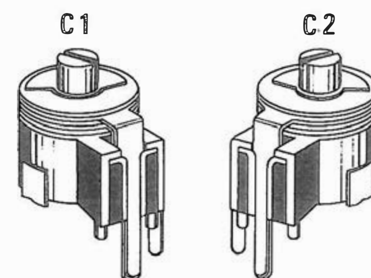




Fig. 27 G - L1 è una lampadina (6V - 50mA) il cui compito è di agire quale resistenza variabile per compensare le eventuali variazioni d'ampiezza dell'oscillazione; essa consente ciò in quanto viene utilizzata sfruttando la sua caratteristica di valore diverso di resistenza a seconda della corrente che l'attraversa. Deve essere saldata ai conduttori che a loro volta la fermano alla basetta, così come si osserva chiaramente nella fotografia di pagina 16 g. C1 e C2 sono i compensatori di due bracci del ponte.

frontale vi è un disegno « esploso » che è di grande utilità.

La **figura 28 G** illustra il pannello frontale visto posteriormente (1), e mette in evidenza la basetta a circuiti stampati (2), nonché i componenti esterni ad essa.

La **figura 29 G** completa l'illustrazione del montaggio, al termine.

Collegamenti a cavetto d'uscita

Il cavetto di prova consiste in un tratto di conduttore schermato unipolare, munito di un involucro esterno isolante, di una calza metallica interna e di un conduttore centrale isolato. Esso viene fornito unitamente alla scatola di montaggio con lunghezza adatta alla esecuzione di qualsiasi misura che il generatore consente.

Le diverse fasi dell'allestimento sono illustrate con le istruzioni e devono essere svolte seguendo l'ordine precisato.

Il raccordo che deve essere inserito sulla presa del pannello frontale contrassegnato « Output » è del tipo ad innesto a baionetta, studiato in modo da semplificare per quanto possibile le operazioni di montaggio.

Controllo e messa a punto

Per prima cosa, come già abbiamo premesso, converrà rivedere fase per fase l'intera sequenza di montaggio, sia dal punto di vista elettrico che da quello meccanico, applicando un contrassegno di diverso colore in ciascuna casella di riferimento, mano a mano che ogni singola operazione viene controllata.

Se non si notano errori di sorta, sarà bene togliere momentaneamente la piastrina che blocca il deviatore a cursore con il quale viene predisposta la tensione di rete. Senza collegare per il momento la spina bipolare ad una presa di tensione, verificare con un ohmetro (predisposto per la misura di bassi valori resistivi) che nella posizione corrispondente a 220 V (leva del deviatore spostata verso l'alto) il valore resistivo misurato sia pari approssimativamente al quadruplo di quello che si riscontra quando invece la leva del deviatore viene spostata verso il basso (per tensione di rete di circa 110 V).

Se questo controllo dà un esito positivo, è utile controllare sempre con un ohmetro che non esistano cortocircuiti lungo la linea di alimentazione.

A tale scopo, sarà utile verificare la resistenza alla corrente continua che si riscontra in parallelo alla capacità elettrolitica C7, che si trova di fianco al trasformatore di alimentazione.

Se tutto è in regola, predisporre il deviatore del cambio-tensione sulla posizione corrispondente alla tensione di rete disponibile (quasi sempre, 220 V), inserire la spina del cordone di rete in una presa di tensione alternata, e mettere il generatore sotto tensione, chiudendo l'interruttore di accensione contrassegnato « Power » sul pannello frontale.

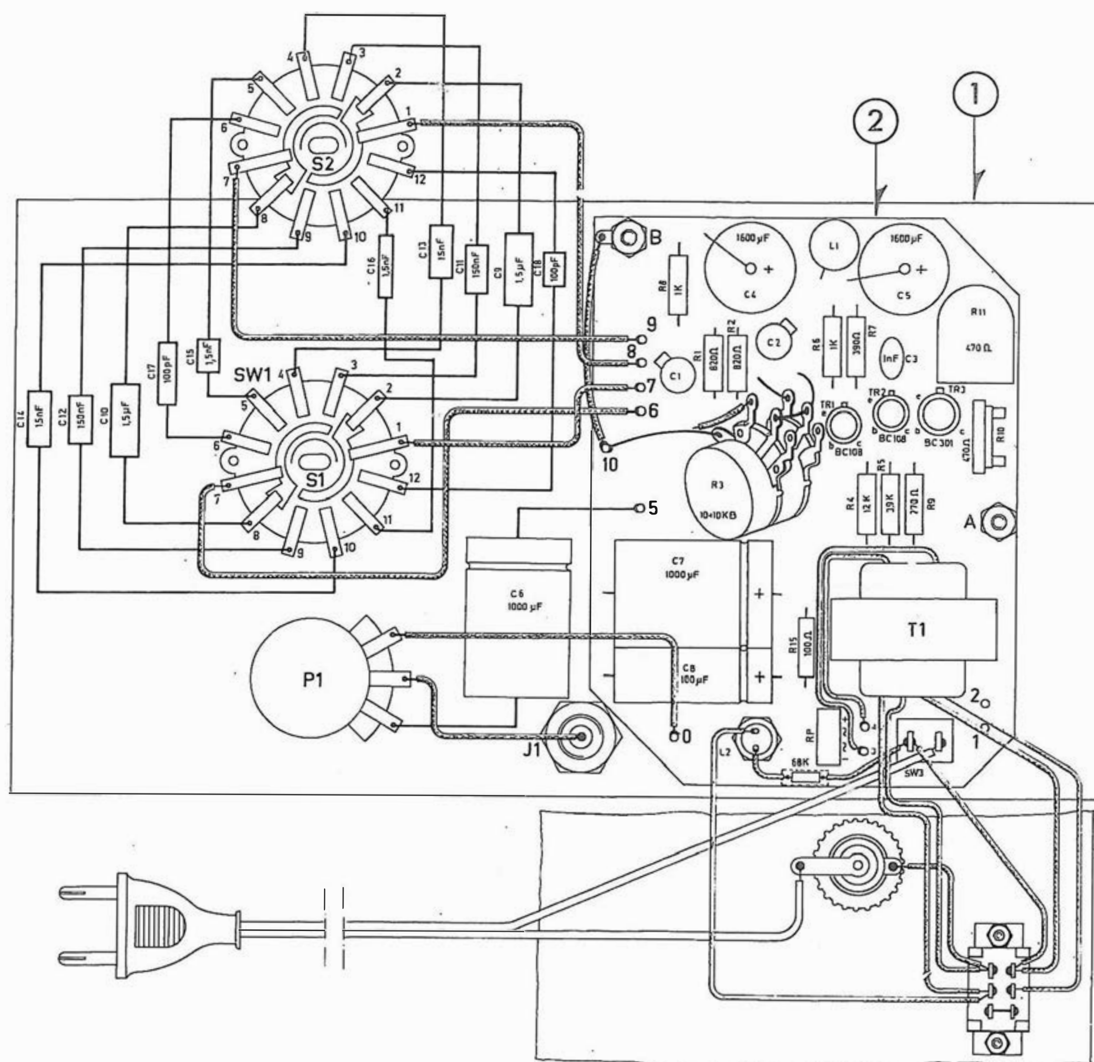


Fig. 28 G - **Il pannello frontale (1) e la basetta a circuito stampato con i componenti (2) ad esso fissata. Sono inoltre riprodotti tutti i collegamenti tra la basetta e le altre parti (pannello frontale e retro della custodia) sì che il disegno rappresenta l'apparecchiatura completa.**

Questo interruttore risulta chiuso quando la leva viene spostata sulla posizione « ON », mentre viene aperto quando la leva viene spostata in posizione « OFF ».

Con l'aiuto di un voltmetro per corrente continua ad alta resistenza di ingresso controllare il valore delle tensioni presenti nei diversi punti critici del circuito, confrontandoli con quelli riportati nello schema elettrico.

Si noti che tutte queste tensioni si intendono positive rispetto a massa, e che il loro valore può presentare una tolleranza del 10% in più o in meno, a causa delle inevitabili variazioni nelle caratteristiche intrinseche dei semiconduttori.

Nell'eventualità però che si riscontrino variazioni di notevole entità rispetto ai valori nominali, sarà bene procedere nuovamente ad un accurato controllo dell'intero circuito, onde accertare l'eventuale presenza di componenti difettosi o di errori di montaggio.

Se il controllo delle tensioni testé eseguito ha dato un esito positivo, ciò significa che il circuito del generatore funziona nelle condizioni previste, per cui è possibile procedere con le operazioni di messa a punto.

1 - Spegnere l'apparecchio, e staccare il cordone di rete dalla presa di corrente.

2 - Portare il cursore del potenziometro semifisso R10 approssimativamente in corrispondenza del centro della sua rotazione.

3 - Portare il cursore del potenziometro semifisso R11 in posizione corrispondente approssimativamente al centro della sua rotazione.

4 - Portare alla massima rotazione in senso orario l'attenuatore di uscita contrassegnato « Amplitude », facendo in modo che l'indice bianco corrisponda alla dicitura « Max ».

5 - Predisporre la manopola contrassegnata « Multiplier » sulla posizione « x1 », ossia sulla sottogamma relativa alle frequenze più basse.

6 - Impiegando il cavetto di prova precedentemente allestito, collegare il raccordo « Output » all'ingresso verticale di un oscilloscopio a raggi catodici.

7 - Predisporre il canale di deflessione orizzontale del suddetto oscilloscopio sulla posizione « Rete ».

In tal modo, è possibile confrontare col sistema delle figure di Lissajous la frequenza dei segnali prodotti dal generatore con quello della tensione di rete, che può essere considerata pari a 50 Hz, con sufficiente precisione per gli impieghi generici.

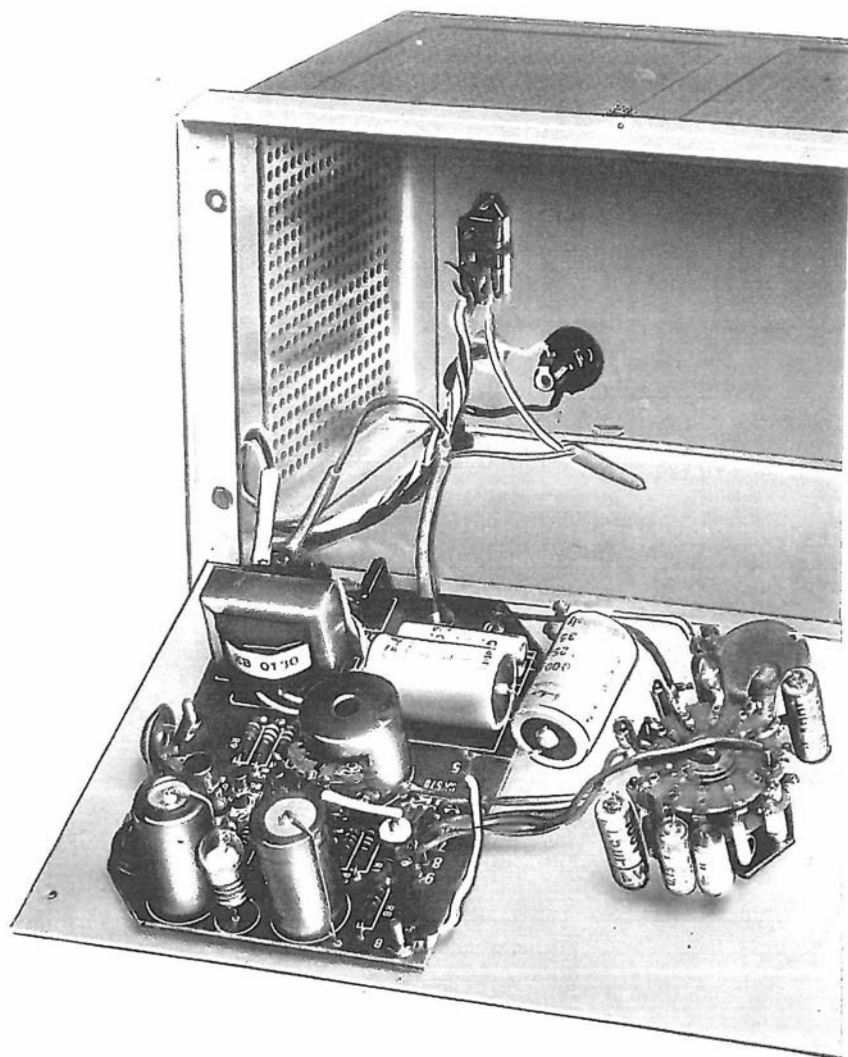


Fig. 29 G - Quanto si è visto nella figura precedente è illustrato qui con fotografia. Si noti il particolare collocamento dei vari condensatori che fanno capo al commutatore doppio di variazione di gamma. Per essi, nei fogli descrittivi del montaggio è riprodotto un particolare disegno esplicativo.

8 - Mettere in funzione il generatore e l'oscilloscopio a raggi catodici.

9 - Regolare la sensibilità dell'ingresso verticale dell'oscilloscopio in modo da ottenere una deflessione verticale di ampiezza tale da non superare i bordi dello schermo fluorescente.

10 - Regolare la sensibilità orizzontale dell'oscilloscopio a raggi catodici, in modo tale che il segnale di rete alla frequenza di 50 Hz determini appunto una deflessione orizzontale che non superi la larghezza dello schermo fluorescente.

11 - Ruotare la manopola ad indice che controlla la posizione del doppio potenziometro R3 in modo tale che il segno rosso presente sull'indice trasparente coincida col valore di 50 Hz.

12 - Se la frequenza di deflessione orizzontale dovuta alla tensione di rete è pari esattamente a 50 Hz, e se la frequenza dei segnali prodotti dal generatore è anch'essa pari a 50 Hz, sullo schermo dell'oscilloscopio a raggi catodici deve essere possibile ottenere la produzione di un cerchio di forma più o meno regolare.

L'eventuale ovalizzazione di questo cerchio, ed una certa instabilità della sua posizione non costituiscono un grave errore, nel senso che denunciano semplicemente lievi variazioni tra le relazioni di fase dei due segnali.

Se invece si nota in tali circostanze la produzione sullo schermo dell'oscilloscopio a raggi catodici di una traccia instabile ed indefinita, ruotare lentamente in un senso o nell'altro la manopola ad indice del doppio potenziometro R3, fino ad ottenere la produzione del cerchio.

Ciò fatto, ferma restando la posizione dell'albero del doppio potenziometro, allentare la vite che rende la manopola ad indice solidale col suddetto albero, correggere la posizione della manopola riportandone l'indice rosso sul valore di 50 Hz, e bloccarla nuovamente.

13 - In tali condizioni, predisporre il selettore di ingresso del canale orizzontale dell'oscilloscopio a raggi catodici sulla posizione corrispondente alla deflessione interna mediante la base tempi.

14 - Regolare la frequenza di deflessione orizzontale dell'oscilloscopio ed il relativo comando di sincronismo, fino ad ottenere la riproduzione di un'oscillazione completa, costituita da una semionda negativa.

15 - Ciò fatto, regolare lentamente il potenziometro R11 in un senso o nell'altro, fino ad ottenere la riproduzione da parte dello schermo dell'oscilloscopio di una oscillazione completa avente una forma il più possibile sinusoidale.

Occorre qui precisare che la regolazione della forma d'onda tramite il potenziometro semifisso R11 ed il controllo di sintonia, ossia della frequenza di oscillazione tramite il doppio potenziometro R3, sono in certo qual modo tra loro interdipendenti. Di conseguenza, è probabile che — regolando la forma d'onda tramite R11 — si alteri la frequenza di sintonia. Per questo motivo una volta regolata la forma d'onda, procedere con i seguenti controlli.

16 - Riportare il selettore di ingresso del canale orizzontale dell'oscilloscopio sulla posizione corrispondente alla deflessione da « rete ».

17 - Regolare nuovamente la sensibilità verticale ed orizzontale dell'oscilloscopio, onde evitare che i segnali di deflessione portino l'oscillogramma al di fuori delle dimensioni utili dello schermo.

18 - Controllare nuovamente la produzione del cerchio quando l'indice di sintonia si trova sulla posizione corrispondente alla frequenza di 50 Hz.

Se l'errore riscontrato è maggiore del 3%, allentare nuovamente la vite che rende solidale la manopola ad indice col perno del doppio potenziometro R3, e correggerne nuovamente la posizione.

19 - Sempre tenendo in funzione il generatore e l'oscilloscopio, ruotare la manopola ad indice portandola sulla frequenza di 25 Hz.

In tali circostanze, deve essere possibile ottenere sullo schermo dell'oscilloscopio la pro-

duzione di un oscillogramma avente la forma tipica del numero 8, disposto verticalmente.

20 - Ruotare ancora la manopola ad indice del doppio potenziometro R3, fino a predisporre lo strumento per la produzione di un segnale avente la frequenza di 100 Hz.

In tali circostanze, l'oscillogramma ottenuto deve corrispondere ancora alla forma tipica del numero 8, che deve però risultare disposto orizzontalmente.

Se l'oscilloscopio di cui si dispone è munito di calibratore, mediante il quale è possibile conoscere con sufficiente esattezza l'ampiezza dei segnali applicati all'ingresso del canale verticale, quello stesso strumento può essere utilizzato per la regolazione dell'ampiezza dei segnali prodotti dal generatore. In caso contrario, occorre applicare il segnale fornito dal generatore all'ingresso di un voltmetro elettronico per corrente alternata.

21 - Regolare lentamente il potenziometro semifisso R10, fino a conferire ai segnali prodotti dal generatore l'ampiezza esatta di 1,5 V_{eff}.

In linea di massima, una volta eseguita questa messa a punto, spostando la manopola del moltiplicatore sulle posizioni « x10 », « x100 » e « x1K », la scala del quadrante graduato risulta moltiplicata rispettivamente per 10, per 100, o per 1.000, ferma restando la posizione dei segni di riferimento. In altre parole, se l'indice rosso viene predisposto sul valore di 50, quando il moltiplicatore si trova sulla posizione « x10 », la frequenza dei segnali prodotti deve essere pari a 500 Hz, mentre se la manopola viene predisposta su una delle posizioni « x100 » oppure « x1K », la frequenza dei segnali deve risultare rispettivamente pari a 5.000 ed a 50.000 Hz.

Per la messa a punto della portata più alta, corrispondente alla posizione «x10 K» del moltiplicatore, sarebbe opportuno disporre di un generatore di segnali in grado di fornire segnali di uscita della frequenza di almeno 50.000 o 100.000 Hz.

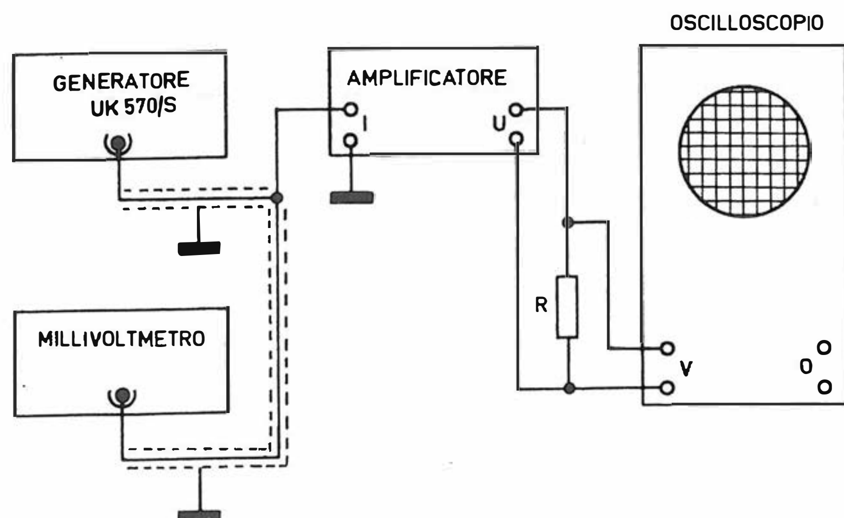


Fig. 30 G - Predisposizione tipica di apparecchiature per il controllo della sensibilità di un amplificatore. Il carico di quest'ultimo è costituito da R, il cui valore e wattaggio devono essere quelli caratteristici dell'amplificatore in esame.

Applicando un segnale di questo tipo all'ingresso del canale orizzontale dell'oscilloscopio a raggi catodici, e dopo aver predisposto il generatore per la produzione di segnali nella gamma più alta, è possibile conferire ai segnali prodotti una frequenza pari a 500 kHz, dopo di che è possibile regolare separatamente i compensatori C1 e C2, fino ad ottenere la corrispondenza con la scala del quadrante graduato della frequenza dei segnali prodotti.

In altre parole, questi due compensatori vanno regolati in modo da ottenere la produzione di un solo cerchio se la frequenza dei segnali di deflessione orizzontale è pari a 500 kHz, oppure di un « 8 » se la frequenza dei segnali di deflessione orizzontale dell'oscilloscopio è pari a 1 MHz.

Una volta eseguita la messa a punto di S1 e di C2, il collaudo e la messa a punto del generatore possono essere considerati completi.

Impiego

Grazie all'estensione delle gamme di frequenze dei segnali che possono essere prodotti da questo strumento, le possibilità di impiego sono vastissime, nel senso che lo strumento può essere usato per compiere una grande varietà di misure e di controlli.

In particolare, riteniamo utile descrivere la tecnica di esecuzione delle misure principali che possono essere eseguite con questo prezioso strumento, alle quali si potranno aggiungere tutte le altre che il costruttore potrà intuire in base alla sua personale esperienza.

MISURA DELLA SENSIBILITÀ D'INGRESSO DI UN AMPLIFICATORE

Per eseguire questa misura occorre disporre, oltre che del generatore anche di un millivoltmetro e di un oscilloscopio a raggi catodici.

I suddetti strumenti vanno collegati tra loro nel modo rappresentato nello schema a blocchi di **figura 30 G**, impiegando un cavo schermato per collegare l'uscita del generatore all'ingresso (I) dell'amplificatore, ed un altro cavo schermato per collegare l'ingresso del millivoltmetro in parallelo alla connessione precedentemente citata.

All'uscita (U) dell'amplificatore sotto prova è necessario applicare in primo luogo il resistore R, il cui valore deve corrispondere all'impedenza di uscita degli stadi finali, e che deve anche essere in grado di dissipare la potenza di uscita fornita dall'amplificatore, senza produrre eccessivo calore.

Dai capi del suddetto resistore di carico verrà infine derivato il segnale che deve essere col-

legato all'ingresso verticale (V) dell'oscilloscopio.

Dopo aver messo in funzione i quattro apparecchi, e dopo aver aspettato qualche minuto affinché raggiungano tutti la normale temperatura di regime, regolare la frequenza del generatore sul valore voluto, e regolare anche l'ampiezza del segnale corrispondente alla massima ampiezza del segnale di uscita, compatibilmente con la minima distorsione.

In tali condizioni, il millivoltmetro, predisposto naturalmente su di una portata adatta, permetterà di stabilire con la massima esattezza possibile l'ampiezza che il segnale di ingresso deve avere affinché il segnale di uscita presenti a sua volta la massima ampiezza, senza subire fenomeni di distorsione.

Variando poi opportunamente la frequenza dei segnali prodotti dal generatore, è possibile tracciare la curva relativa all'intera gamma di responso, e stabilire in tal modo la sensibilità di ingresso dell'amplificatore sotto prova.

MISURA DI RESPONSO ALLA FREQUENZA DI UN AMPLIFICATORE

Una volta stabilita la sensibilità di ingresso nel modo precedentemente descritto, spostando solo il millivoltmetro all'uscita dell'amplificatore rispettando la disposizione degli strumenti illustrata alla figura 30 G, è possibile anche tracciare la curva di responso dell'amplificatore sotto prova, procedendo come segue.

Dopo aver conferito al segnale di uscita del generatore l'ampiezza corrispondente alla sensibilità di ingresso riferita alla frequenza centrale di 1.000 Hz, diminuire gradatamente la frequenza delle oscillazioni, correggendo l'ampiezza in modo da mantenerla costante nell'eventualità che subisca delle variazioni.

In corrispondenza di ogni singolo valore si potrà rilevare l'ampiezza del segnale di uscita, e riportarne il valore sul grafico che rappresenterà la curva di responso.

Ripetendo tali operazioni anche per tutte le frequenze superiori al valore di 1.000 Hz, sarà alla fine possibile ottenere la curva di responso dell'amplificatore sotto prova nei confronti della intera gamma compresa tra i limiti delle frequenze acustiche, ossia tra 16 e 16.000 Hz, oppure con limiti inferiori o superiori, a seconda della classe alla quale l'amplificatore appartiene.

MISURA DELLA POTENZA D'USCITA INDISTORTA DI UN AMPLIFICATORE

Per eseguire questa misura, occorre disporre, oltre che degli strumenti precedentemente citati, anche di un wattmetro.

I suddetti strumenti dovranno essere collegati

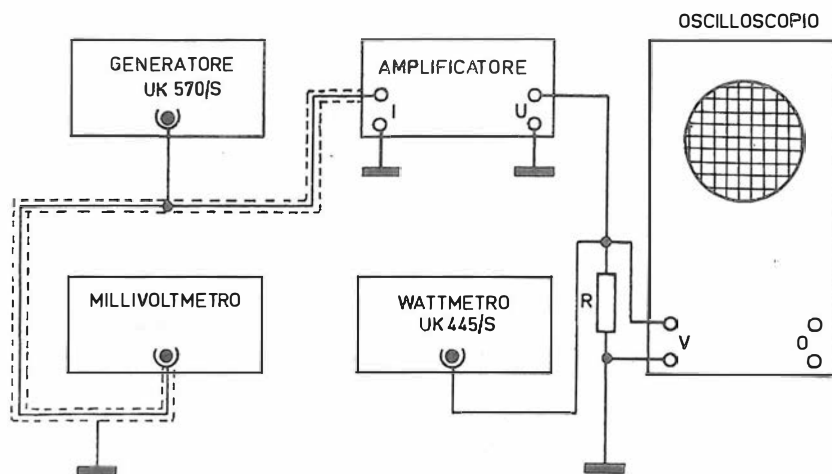


Fig. 31 G - Se si vuole controllare la potenza d'uscita indistorta dell'amplificatore, alla predisposizione già vista per la misura della sensibilità occorre aggiungere l'inserzione di un wattmetro.

tra loro nel modo illustrato nello schema a blocchi di **figura 31 G**, eseguendo mediante cavo schermato le connessioni tra il generatore, l'amplificatore sotto prova, ed il millivoltmetro.

Il resistore di carico R dovrà essere esterno se la potenza di uscita dell'amplificatore supera i limiti consentiti dal wattmetro con l'impiego dei resistori di carico interni.

Variando la frequenza e l'ampiezza dei segnali forniti dal generatore, e controllando la regolarità della forma di onda riprodotta sullo schermo dell'oscilloscopio, è facile stabilire a quale valore ammonta la massima potenza di uscita indistorta dell'amplificatore, per le varie frequenze comprese entro la gamma utile.

MISURA DELLA DISTORSIONE ARMONICA IN FUNZIONE DELLA FREQUENZA

Con l'aggiunta di un distorsiometro, è possibile tracciare anche la curva di distorsione armonica totale introdotta da un amplificatore, ovviamente in funzione della distorsione propria del generatore di segnali.

A tale scopo, è sufficiente collegare all'uscita dell'amplificatore il distorsiometro, ed all'ingresso dello stesso un segnale fornito dal generatore, di ampiezza tale da ottenere una potenza di uscita per la quale si desidera effettuare appunto la misura della distorsione.

Si misura la suddetta distorsione corrispondente alle varie frequenze, mentre su di un grafico di carta millimetrata semi-logaritmica, si riportano i valori della frequenza sull'asse orizzontale, a variazione logaritmica.

MISURA DEL COMPORTAMENTO DEI FILTRI DI FREQUENZA

Per rilevare la curva di responso dei dispositivi di controllo di tono si procede nel modo già descritto agli effetti del rilevamento della

curva di responso degli amplificatori.

In pratica, si tratta di rilevare la medesima curva, dopo aver conferito rispettivamente alle frequenze, più basse ed a quelle più alte prima la massima attenuazione e poi la massima esaltazione. Usufruendo infine della apposita tabella da noi pubblicata nella lezione 5ª, è assai facile esprimere in decibel il comportamento dei dispositivi di controllo del tono.

Conclusione

Come abbiamo visto, questo generatore si presta quindi all'esecuzione di una grande varietà di misure, che possono semplificare notevolmente il compito del tecnico di laboratorio, agli effetti della valutazione delle prestazioni di un amplificatore, nonché agli effetti della progettazione di nuovi circuiti, e della messa a punto di amplificatori di recente costruzione.

La semplicità circuitale di questo strumento, la sua sicurezza di funzionamento, le ridotte dimensioni e la praticità di impiego, fanno sì che chiunque lo realizzi possa trarne il massimo beneficio per un periodo di tempo illimitato, completando così nel modo più razionale possibile la propria attrezzatura.

Misure della corrente alternata

Amperometri e voltmetri

Per effettuare misure in c.a. a frequenza bassa si usano correntemente tre tipi di strumenti: gli strumenti a ferro mobile, che possono misurare tanto la c.c. che la c.a., sia pure con scarsa sensibilità; gli strumenti provvisti di raddrizzatori (raddrizzatore che ha il compito di convertire la c.a. in c.c. onde permettere poi di misurare quest'ultima con uno strumento sensibile adatto solo per c.c.), ed i voltmetri elettronici che impiegano valvole elettroniche o transistori.

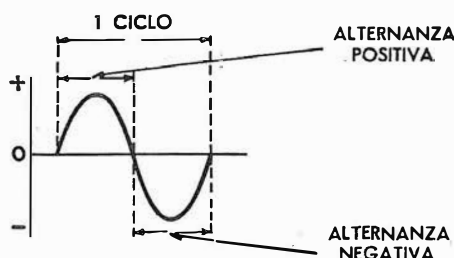


Fig. 32 G - Ancora una riproduzione del caratteristico andamento della corrente alternata, con la sua inversione di polarità e la rappresentazione di 1 ciclo. La forma d'onda, ossia la variazione nel tempo, è qui, come ben sappiamo ormai, sinusoidale.

Prima di passare qu. in rassegna i primi due tipi di strumenti citati, riesporremo succintamente quanto è stato detto sulla c.a. al fine di facilitare la comprensione di come essa possa essere misurata.

Abbiamo testé visto che cosa sia la corrente alternata, come venga generata, come si comporti, come si classifichi, ecc.

Sappiamo che la corrente alternata scorre periodicamente prima in una direzione e poi in quella opposta, come è illustrato nella **figura 32 G.**

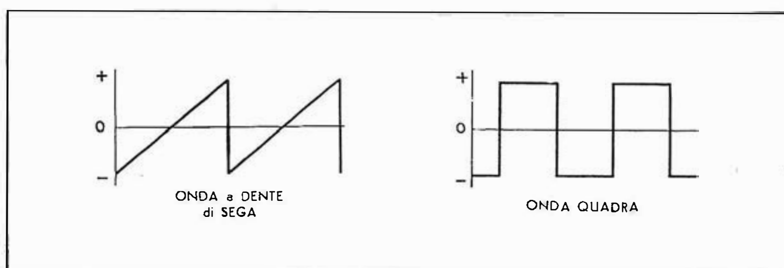
Il tempo necessario affinché il valore vada da 0 al massimo positivo, ritorni a zero, per poi raggiungere il massimo valore negativo e quindi ritorni ancora una volta a zero, corrisponde al tempo necessario per l'evoluzione di 1 ciclo o periodo.

Ci è noto anche che quella parte di un ciclo durante la quale la corrente scorre in un'unica direzione — come illustrato nella figura — si chiama « alternanza » o « semiperiodo » o « semiciclo » o « semionda », e che la frequenza non è altro che il numero di cicli che hanno luogo in un minuto secondo: una c.a., si noti, può avere qualsiasi frequenza.

« Forma d'onda » viene detta la rappresentazione grafica di una corrente o di una tensione che varia in relazione al tempo.

La **figura 33 G** illustra i valori di ampiezza e la direzione relativi ad ogni istante. Come si vede dalla figura stessa esistono varie forme d'onda, e non solo quella sinusoidale che abbiamo sinora presa in considerazione; vi sono infatti forme d'onda a dente di sega, quadre, ecc.

Fig. 33 G - Le correnti alternate non sempre seguono l'andamento sinusoidale. Si incontrano spesso, in elettronica, onde a forma di dente di sega o a forma quadra, che vengono rappresentate così come dalla figura. L'aumento e la diminuzione dell'ampiezza si effettuano evidentemente in tempi diversi tra loro.



Valore efficace

Il valore medio, aritmetico, del periodo intero di un'onda sinusoidale è zero, in quanto i due semiperiodi che la compongono sono eguali e di segno contrario.

Le parole « positivo » e « negativo » costituiscono un mezzo sufficientemente comodo per indicare che la corrente inverte la sua direzione, tuttavia è bene avere presente che, dal punto di vista del funzionamento del circuito, essa scorre durante entrambi i semiperiodi, e compie in entrambi pari ammontare di lavoro.

Quando una corrente segue un andamento sinusoidale, la sua ampiezza varia costantemente in ogni alternanza.

Il problema della misurazione di una corrente alternata consiste in ciò: le unità elettriche fondamentali di misura, ossia il volt e l'ampère, sono basate sulla c.c., ed è ovvio allora chiedersi in qual modo sia possibile paragonare alla c.c. i valori di tensione e di corrente di un'onda sinusoidale.

Appare anzitutto evidente che non si può prendere in considerazione il valore di picco, o di cresta, in quanto tale valore sussiste solo per un breve istante in ogni alternanza.

Per ottenere perciò una relazione ben definita tra c.c. e c.a. si è provveduto a studiare, lo abbiamo già accennato, gli effetti termici di entrambe.

Si è constatato che una tensione o corrente pari a 0,707 volte il valore di picco di una c.a. produce, in una data resistenza, il medesimo effetto termico: in altre parole, che una corrente alternata produce un effetto termico pari a quello prodotto da una c.c. avente un valore eguale a 0,707 quello della corrente alternata (**figura 34 G**).

Questo concetto è stato visto ed illustrato nelle pagine precedenti, e si è dimostrato anche come il coefficiente 0,707 derivi dalla radice quadrata di 2.

Non sarà male comunque tornare con qualche semplice esempio su questi argomenti sintetizzando ancora le formule di conversione, perché esse, se ben presenti, facilitano molto, come abbiamo detto, la comprensione del funzionamento degli strumenti di misura relativi.

Ad esempio, supponiamo che un circuito sia percorso da una corrente sinusoidale avente un valore di picco di 5 ampère: tale corrente, sappiamo, ha un effetto termico eguale a quello di una c.c. con intensità $0{,}707 \times 5 = 3{,}535$ amp.

Il valore di picco moltiplicato per il fattore di conversione citato, e cioè 0,707, si chiama « valore efficace »; pertanto 3,535 ampère è il valore efficace di 5 ampère di picco, ossia:

$$I_{eff} = 0{,}707\ I_{max} \quad I_{max} = I_{eff} : 0{,}707 = 1{,}414\ I_{eff}$$

L'effetto termico della corrente è basato a sua volta sulla formula della potenza $P = I^2 R$, la quale determina l'ammontare della potenza dissipata in calore. Detto calore varia col variare del quadrato della corrente, e, quando l'onda sinusoidale raggiunge il suo valore di picco, raggiunge l'intensità massima (pari al valore della corrente elevato al quadrato e moltiplicato per la resistenza).

Per trovare la quantità di calore dissipato durante un intero periodo, si eleva al quadrato ogni valore istantaneo della corrente, quindi si trova un valore medio della somma di tali valori, dopo di che se ne estrae la radica quadrata; la quale rappresenta il valore efficace e corrisponde a 0,707 volte il valore di cresta.

Gli strumenti per c.a. sono tarati in modo da indicare il valore efficace della tensione o della corrente di cui si misura rispettivamente l'ampiezza o l'intensità; se uno strumento indica, ad esempio, una corrente di 70,7 mA, ciò vuol dire che si sta misurando una corrente alternata il cui valore di picco è di 100 milliampère.

Dobbiamo accennare anche ad altri due noti valori relativi ad un'onda sinusoidale che hanno importanza per comprendere come siano tarati gli strumenti: il « valore medio » ed il « fattore di forma ».

Prelevando la media dei valori istantanei della tensione durante una alternanza, sappiamo che:

$$E_{media} = 0{,}637\ E_{max}$$

Il valore efficace è evidentemente maggiore del valore medio in quanto:

$$E_{eff} : E_{media} = 0{,}707 : 0{,}637 = 1{,}11$$

« Il fattore 1,11 — noto come "fattore di forma" di un'onda sinusoidale — è perciò il rapporto tra tensione efficace e tensione media ».

Si tenga presente che i valori efficaci e medi ora enunciati si riferiscono soltanto alle correnti ed alle tensioni sinusoidali.

Nel caso di grandezze elettriche con forme d'onda diverse da quella sinusoidale, vale a dire tendenti alle due forme limite — quella a dente di sega e quella quadra — vedremo in apposite lezioni future quali siano i parametri per la loro interpretazione analitica.

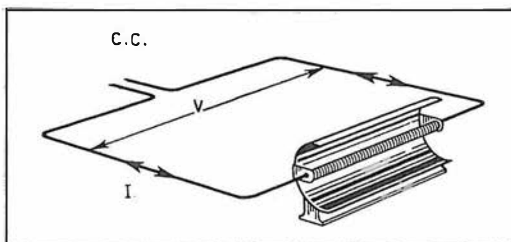
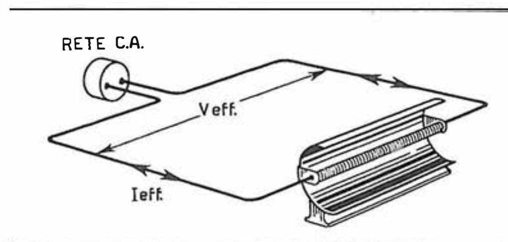


Fig. 34 G - La potenza assorbita da un carico alimentato in corrente continua è costante mentre se la corrente è alternata vi sono dei punti di massima (picco) e di zero. Nel primo caso si ha P (watt) = E × I, nel secondo la tensione da applicare per avere lo stesso risultato viene definita tensione « efficace ». I « picchi » di detta tensione sono più alti del valore efficace e precisamente sono, valore efficace : 0,707. Quando si cita comunemente un valore di tensione alternata (ad esempio quello di rete) si intende tensione efficace.



Strumenti a ferro mobile

Gli unici tipi di strumenti a ferro mobile oggi in uso sono quelli ad aletta mobile, e, sebbene possano misurare sia la c.c. che la c.a. vengono normalmente utilizzati solo per la c.a. in quanto, come già abbiamo visto, per la c.c. esistono altri tipi di strumenti più sensibili e maggiormente precisi; gli strumenti a ferro mobile vengono tuttavia ancora impiegati per misurare correnti e tensioni a frequenza bassa, limitatamente a quelle frequenze che sono definite « industriali » (**figura 35 G**).

Già abbiamo esaminato il principio di funzionamento di questo tipo di strumento: ci limiteremo perciò a qualche ulteriore cenno al fine di completare l'argomento. Incidentalmente diremo anche che, nelle apparecchiature elettroniche, gli strumenti a ferro mobile sono usati raramente, tuttavia non è male avere qualche nozione su di essi perché, in certi casi ragioni di economia possono ancora giustificarli.

L'equipaggio mobile è basato sul principio già esposto, delle due alette di ferro dolce che si respingono a vicenda quando vengono magnetizzate con la medesima polarità.

Esse vengono collocate all'interno di una bobina che assume il ruolo di elettromagnete quando viene percorsa da corrente. Le linee di forza si allontanano dal polo Nord dell'avvolgimento, si piegano all'esterno in tutte le direzioni e rientrano nella bobina dal polo Sud.

All'interno della bobina, diverse linee di forza passano attraverso le alette di ferro in quanto esse hanno una riluttanza inferiore a quella dell'aria, il che ha per risultato che le linee di forza presenti alle estemità delle alette sono molto avvicinate, ed il loro addensamento fa sì che si allontanino l'una dall'altra.

Se il senso della corrente che si misura e che magnetizza le alette si inverte durante il secondo semiperiodo, la manifestazione del fenomeno non subisce variazioni in quanto le polarità magnetiche del campo e delle alette di ferro dolce si invertono anch'esse contemporaneamente, e queste ultime continuano perciò a respingersi.

Il principio è utilizzato nella costruzione sia di strumenti ad alette radiali che in quelli ad alette concentriche. La differenza tra i due tipi è già stata illustrata, comunque esamineremo ora tale differenza con qualche maggiore dettaglio.

In entrambi i tipi vi sono molle che esercitano la funzione di « controllo ». Esse offrono una opposizione, opportunamente calcolata, allo spostamento dell'equipaggio mobile, ed hanno anche il compito di riportare l'indice a zero non appena allo strumento non perviene più corrente. L'indice dà quindi una lettura corrispondente al punto in cui la forza di repulsione delle alette è eguale a quella opposta delle molle.

Negli strumenti ad alette radiali, internamente alla bobina vengono collocate due alette di forma rettangolare; una di esse è fissa, mentre l'altra, solidale con un perno, è libera di ruotare attorno a quest'ultimo il quale, a sua volta, fa da supporto ad un indice (**figura 36 G**).

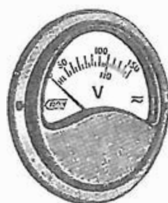


Fig. 35 G - Gli strumenti a ferro mobile hanno il pregio di un costo molto basso: ora sono spesso sostituiti con quelli a bobina mobile, ma ove servono come « spia », con inserzione permanente, possono essere tuttora di impiego.

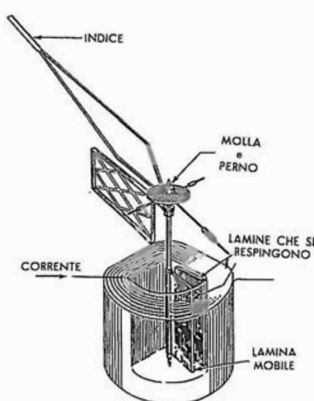


Fig. 36 G - Struttura di uno strumento a ferro mobile, con alette radiali. Il perno rotante e recante l'indice, è solidale con una aletta: l'altra aletta è fissa.

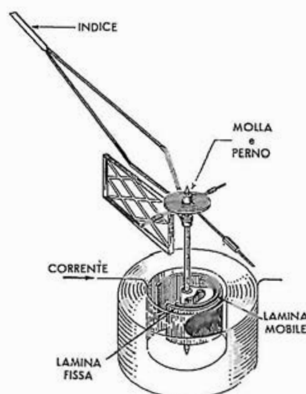


Fig. 37 G - Struttura di uno strumento a ferro mobile, con alette concentriche. Le due alette sono l'una nell'altra: il perno, con indice, è solidale con quella interna.

Il perno è sostenuto da due supporti muniti di gioiello come negli orologi, il che permette il movimento con il minimo attrito e col minimo logorio nel tempo e con l'uso continuato.

Quando la bobina è percorsa da corrente, le alette rettangolari si magnetizzano e si respingono, quella mobile si allontana da quella fissa, spostando contemporaneamente l'indice su una scala graduata e, poiché la deviazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'intensità del campo magnetico sviluppato, ne consegue che l'indice misura l'ampiezza della tensione presente ai capi della bobina stessa, oppure l'intensità della corrente che la percorre.

Negli strumenti ad alette concentriche, vi è una leggera variante, sebbene essi siano basati sul medesimo principio. In essi, le alette di ferro dolce hanno una forma semicircolare (**figura 37 G**), e vengono dette concentriche in quanto vengono collocate una nell'altra.

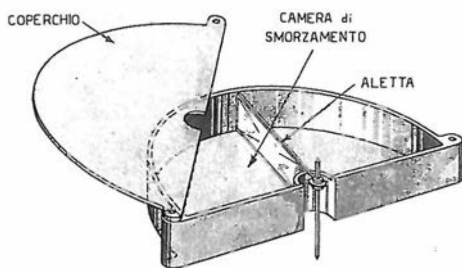
Quella fissa si trova all'esterno ed ha una forma leggermente affusolata da un lato, mentre quella mobile è collocata all'interno, è montata sul perno solidale con l'indice, ed ha una forma con angoli vivi.

Quando una corrente scorre attraverso la bobina, le alette diventano sede di linee di forza concentrate, le quali si distribuiscono uniformemente in quella mobile avente, come si è detto, una forma regolare, e non uniformemente in quella fissa avente invece una forma affusolata. Nella parte più stretta di quest'ultima passa perciò un numero inferiore di linee di forza in quanto, essendo minore la quantità del ferro, è maggiore la riluttanza.

Le linee di forza così addensate si respingono a vicenda: l'aletta mobile viene ad essere sollecitata ad una rotazione tale da ripristinare l'equilibrio della loro distribuzione, fino a far raggiungere la distanza massima tra le linee. In tal modo, la parte mobile si sposta nella direzione della parte affusolata dell'aletta fissa, perché questa è la direzione in cui le linee di forza diminuiscono.

Anche in questo caso, l'ammontare dello spostamento è in relazione alla quantità di corrente, ed in entrambi i sistemi, la forza di propulsione deve essere in grado di vincere la forza contraria prodotta dalle molle o comunque dal dispositivo di centraggio dell'indice, che fa sì che esso torni sempre al medesimo punto non appena cessa la causa del suo spostamento e cioè il fluire della corrente.

Nei piccoli strumenti, del tipo ad alette radiali, la bobina è alloggiata in una custodia metallica chiusa e l'equipaggio mobile si adatta in maniera esatta nello spazio disponibile. Non appena si manifesta la forza di repulsione e il movimento, l'aletta comprime l'aria che ha di



fronte a sé, per cui la velocità diminuisce.

Quando l'indice tende a fermarsi, l'azione di smorzamento tende contemporaneamente a cessare, e l'indice subisce delle oscillazioni di ampiezza decrescente col tempo (questo, tra l'altro, è uno degli inconvenienti di questo tipo di strumento), finché si ferma del tutto.

Negli strumenti di maggiori dimensioni, invece, una ulteriore leggera aletta di alluminio (**figura 38 G**) è solidale col perno rotante: essa a sua volta è collocata in una custodia a tenuta d'aria, nella quale è libera di muoversi per tutta la rotazione del perno; la resistenza al movimento è molto maggiore che nel primo caso e di conseguenza lo smorzamento più pronto ed efficace.

In questo caso si evita di dover attendere molto, prima che l'indice si fermi sul valore corrispondente alla misura che si sta effettuando, la qual cosa consente una superiore rapidità di lettura.

Altre caratteristiche

Le alette concentriche fanno sì che l'indice dia letture in accordo alla « legge quadratica » piuttosto che alla proporzione diretta nei confronti dell'ammontare della corrente.

Ad esempio, se la corrente viene raddoppiata, raddoppia contemporaneamente l'intensità del campo magnetico presente nelle alette ed intorno ad esse, e poiché « entrambe » si respingono con una forza « doppia », ne consegue che la forza di repulsione sviluppata è quadrupla.

La repulsione — e quindi lo spostamento dell'indice — « non variano direttamente » col variare della corrente, bensì col variare del « quadrato » della corrente stessa. In altre parole, se essa viene raddoppiata, la deflessione è quadrupla, se triplicata essa è nove volte maggiore, e così via.

Per questo motivo si dice che la scala non è lineare e che la deflessione segue appunto un andamento quadratico: infatti la distanza tra i numeri indicanti i vari valori — o le lineette che li rappresentano — è minima al principio della scala ed aumenta man mano che essa si estende verso l'estremità opposta. In una scala realmente quadratica, qualsiasi punto che rappresenti un valore doppio di un punto precedente rappresenta anche una deflessione quadrupla.

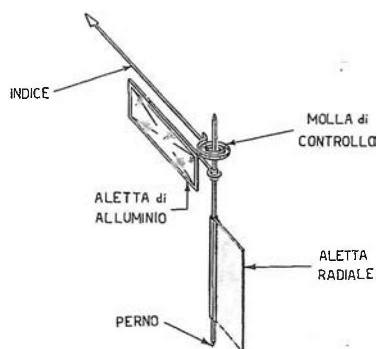


Fig. 38 G - A volte, negli strumenti a ferro mobile si ha una camera di smorzamento, a tenuta d'aria, con apposita aletta interna, per diminuire le oscillazioni dell'indice, la qual cosa consente una superiore rapidità di lettura evitando di dover attendere molto, prima che l'indice si fermi sul valore corrispondente alla misura in oggetto. Il particolare costruttivo dell'equipaggiamento che sfrutta il sistema di smorzamento è illustrato in dettaglio.

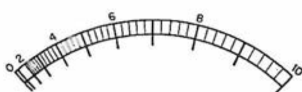


Fig. 39 G - La scala degli strumenti a ferro mobile non è lineare, bensì ad andamento quadratico, come risulta da questa illustrazione ove il valore 5 è ad un quarto di scala rispetto al valore 10. Questo fatto limita naturalmente la precisione di lettura nella porzione iniziale della scala tarata.

Ad esempio, la **figura 39 G** illustra una scala in cui la deflessione completa indica 10, mentre la quarta parte indica 5; il raddoppio della corrente porta ad una deflessione quattro volte maggiore.

Quando la bobina viene percorsa da una corrente sinusoidale, questa non è di valore fisso bensì, data appunto la sua natura, varia costantemente: in altre parole, se si misura una corrente a 50 c/s (cicli al secondo o hertz) come ben sappiamo, essa va da zero al valore massimo ed ancora a zero in un senso, per poi ripetere la cosa nel senso opposto, il tutto 50 volte al minuto secondo.

Le linee di forza in conseguenza di ciò, cambiano continuamente sia l'intensità che la direzione: l'ammontare della forza di repulsione reciproca tra le alette varia perciò da zero al massimo, e quindi ancora a zero, 100 volte al minuto secondo, in quanto la repulsione è massima durante entrambe le alternanze, sia quella positiva che quella negativa.

L'indice dello strumento resta tuttavia fermo in un punto poiché la sua inerzia — dovuta al peso, ossia alla sua massa — gli impedisce di seguire le variazioni istantanee. Per esso è fisicamente impossibile cambiare posizione 100 volte al secondo; l'indice assume pertanto una posizione che indica il valore medio delle linee di forza presenti in ogni alternanza, valore a sua volta dipendente dal valore medio della corrente, che corrisponde a 0,637 volte la corrente di picco: questo è il valore indicato dallo strumento.

Per apprezzarne il reale significato, le misure in c.a. devono però essere effettuate in termini di valore efficace, ossia del valore termico equivalente in c.c. Per questa ragione le scale sono tarate in valori efficaci invece che in valori medi relativamente ad onde sinusoidali.

Supponiamo, ad esempio, che si debba tracciare una scala per uno strumento nuovo, e che ai suoi capi venga collegata una tensione sinusoidale con un valore di picco di 100 volt.

In questo caso l'indice indica il valore medio, pari a 63,7 volt, ma questo punto viene contrassegnato col valore efficace di 70,7 volt (E_{eff} = = 0,707 volte 100, ossia 70,7) e così il resto della scala, che viene tarato in valori efficaci e non in valori medi.

La maggior parte degli strumenti per c.a. è tarata sulla base di una corrente sinusoidale (di frequenza pari a quella della rete luce), tuttavia non tutte le correnti dei circuiti elettronici hanno andamenti sinusoidali e frequenze dell'ordine di quelle della rete, per cui se uno strumento per c.a. viene usato per misurare correnti o tensioni non sinusoidali, non si ottiene una lettura esatta bensì soltanto una indicazione approssimativa.

Per quanto riguarda il comportamento alle diverse frequenze che la corrente da misurare

può presentare, diremo anzitutto che, generalmente, gli strumenti a ferro mobile non vengono utilizzati per misurare c.a. la cui frequenza sia superiore a 100 Hz.

La reattanza induttiva (vedremo più avanti questo termine) di una bobina ($X_L = 2\pi fL$) aumenta con l'aumentare della frequenza, e provoca quindi una diminuzione della corrente che la percorre: a causa di ciò si hanno letture inesatte se uno strumento del genere viene adottato per effettuare misure in c.a. la cui frequenza sia più alta di quella della normale corrente di rete.

Le perdite nel nucleo (per isteresi e per correnti parassite) aumentano inoltre nelle alette con l'aumentare della frequenza, e costituiscono quindi una ulteriore fonte di errore.

La tolleranza sulla lettura dichiarata, per la maggior parte degli strumenti a ferro mobile, è dell'ordine del ± 5%.

A volte, una vite esterna, posta sulla parte frontale dello strumento, agisce sul punto di ancoraggio di una delle molle, e permette quindi di spostare tale punto per portare l'indice al valore di zero in assenza di corrente.

Per evitare che eventuali campi magnetici esterni influenzino le letture, si usa montare gli strumenti in un involucro metallico (di ferro), il quale forma custodia e schermo magnetico nello stesso tempo (**figura 40 G**).

Nel caso del voltmetro, la bobina dello strumento a ferro mobile è costituita da un avvolgimento di molte spire di filo sottile; è allora possibile usare una resistenza addizionale in serie, allo scopo di estendere la portata al valore desiderato.

Nel caso dell'amperometro il numero di spire è molto inferiore ed il filo è di spessore maggiore.

Gli amperometri a ferro mobile possono essere usati per misurare notevoli intensità di corrente senza l'uso di resistenze in derivazione o « shunt », tuttavia, a causa della loro scarsa sensibilità, non possono misurare correnti deboli come è possibile fare con gli strumenti a bobina mobile dei quali si è già parlato.

La massima sensibilità utile, ottenibile, raggiunge i 15 mA f.s., pari a 67 ohm/volt.

Concludendo, si può affermare che questi tipi di strumenti sono utili per misurare correnti e tensioni alla frequenza di rete, ma, come si è già detto, a causa della loro scarsa sensibilità, non vengono impiegati per l'analisi dei circuiti: essi hanno però la caratteristica di un basso costo.

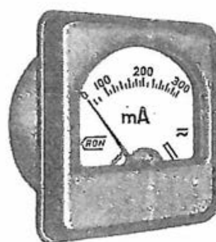


Fig. 40 G - Anche gli strumenti a ferro mobile dopo la forma tonda hanno assunto quella ora più consueta quadrata o rettangolare.

Impiego di raddrizzatori

Nell'analisi dei circuiti, la maggior parte delle misure di c.a. a frequenza bassa viene effettuata con strumenti a bobina mobile provvisti di rettificatori. Sensibilità e precisione sono molto maggiori di quelle degli strumenti a ferro mobile.

Nella maggior parte degli analizzatori o « tester » — ossia degli strumenti destinati a vari tipi di misure — è compreso un circuito del tipo citato: in tal modo è possibile misurare tensioni e correnti sia in c.a. che in c.c. col medesimo strumento.

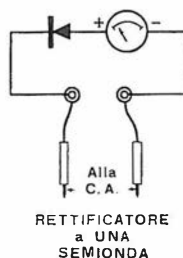
Lo strumento con rettificatore è, pertanto, una combinazione tra uno strumento per c.c. a bobina mobile (movimento d'Arsonval) ed un raddrizzatore: mediante quest'ultimo la c.a. viene trasformata in c.c. (dopo tale trasformazione è detta **pulsante**) e come tale misurata dallo strumento per corrente continua.

Un rettificatore o raddrizzatore usato per molto tempo e che quindi il tecnico può tuttora incontrare negli strumenti è quello ad ossido di rame. Consiste in diversi dischetti di rame ognuno dei quali porta su una delle superfici uno strato di ossido. Essi sono separati mediante ranelle di piombo, e stretti l'uno contro l'altro a mezzo di un prigioniero (vite con dado) isolato. Il tipo di raddrizzatore in questione può essere realizzato sia per raddrizzare una sola semionda, sia per raddrizzarle entrambe.

Il compito di un raddrizzatore consiste, si è detto, nel convertire la c.a. in una specie di c.c.; di conseguenza, a differenza della corrente che entra in esso, quella che ne esce non cambia più periodicamente la sua direzione.

La resistenza di conduzione in un elemento rettificatore è molto bassa in un senso in confronto a quella che sussiste nel senso opposto. A causa di ciò il passaggio di corrente può avvenire in una sola direzione.

Il dispositivo viene denominato « raddrizzatore » ed è perfettamente analogo al diodo rivelatore che abbiamo visto impiegato con l'Alta Frequenza nei semplici ricevitori radio descritti in precedenti lezioni. Si usano ora tanto diodi al silicio che al germanio. Un esempio di impiego di diodi di quest'ultimo tipo è visibile nel « tester » già descritto per eventuale costruzione da parte del lettore.



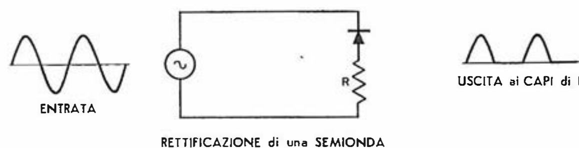


Fig. 41 G - Rappresentazione pratica e schematica di un assieme rettificatore-strumento a bobina mobile, per letture di corrente alternata. Raddrizzamento di 1 sola semionda. La « R » dello schema corrisponde allo strumento.

Rettificazione di una semionda. Quando una c.a. viene applicata ad un rettificatore in serie ad una resistenza (**figura 41 G**, a destra), la corrente passa attraverso il rettificatore stesso dalla punta della freccia verso il lato piatto (che rappresentano rispettivamente il catodo e l'anodo), e non nel senso opposto in quanto, come sappiamo, in questo caso, la corrente incontra

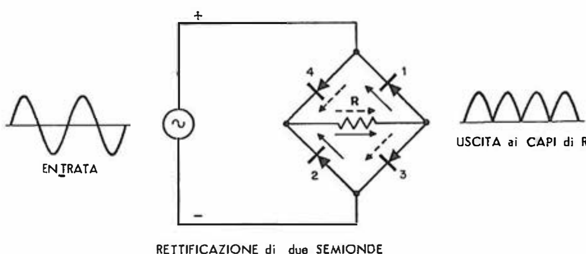
una resistenza molto alta; di conseguenza la corrente che percorre la resistenza non inverte la sua direzione, ossia non è più c.a. bensì « corrente continua pulsante ».

Da ciò possiamo dedurre che, se si rettifica una sola semionda, la corrente che scorre nella resistenza è presente soltanto durante un semiperiodo della corrente alternata, e non durante l'altro; ciò significa che la corrente pulsante (come illustrato a destra nella figura), se è espressa graficamente assume un aspetto in cui si ha un inizio dal valore zero, seguito da un aumento fino al valore massimo, dopo di che il valore scende nuovamente a zero, sempre nella medesima direzione.

Quest'ultimo valore viene mantenuto per tutto il tempo in cui si svolge l'altro semiperiodo, al termine del quale il processo si ripete.

Rettificazione di due semionde. Si può fare in modo che la corrente scorra attraverso la resistenza durante entrambi i semiperiodi e nella medesima direzione (rettificazione dell'onda intera), mediante l'impiego di un raddrizzatore a ponte, come è illustrato a sinistra della **figura 42 G.**

Quando l'alternanza è positiva al punto superiore (unione di «1» con «4»), la corrente scorre dal generatore attraverso il raddrizzatore «2», la resistenza «R» « da sinistra a destra », attraverso il raddrizzatore «1» nel senso possibile (ossia dal catodo all'anodo) e torna quindi al generatore.



Nell'alternanza successiva la polarità delle tensione generata si inverte: la corrente scorre dal generatore attraverso il raddrizzatore «4», la resistenza «R», ancora « da sinistra a destra », il raddrizzatore «3» e quindi torna al generatore.

Si può notare che, durante l'intero ciclo, pur trattandosi di una corrente che ha invertito la sua direzione, la corrente presente nella resistenza ha continuato a scorrere nel medesimo senso.

La c.a. è quindi diventata corrente pulsante continua: pulsante in quanto l'ampiezza non è costante, e continua in quanto la direzione non si è invertita.

È possibile rettificare le due semionde con un altro sistema detto « in controfase »; esso è illustrato alla **figura 43 G.**

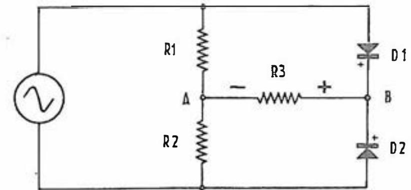
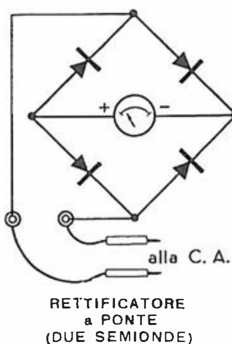


Fig. 43 G - Sistema di collegamento in « controfase » per la rettificazione di entrambe le semionde di una tensione alternata. Si ottiene, ai capi di R3, una tensione pulsante pari a metà di quella alternata applicata all'ingresso del circuito di rettificazione. In luogo di R3, è ovvio, si ha in pratica lo strumento per corrente continua.

Fig. 42 G - Rappresentazione pratica, e a lato, schematica, di un assieme rettificatore-strumento a bobina mobile, per letture di corrente alternata. Il raddrizzamento per entrambe le semionde, è ottenuto con circuito a ponte.



In questo caso, l'intera tensione viene applicata a due resistenze in serie tra loro e di eguale valore, le quali a loro volta sono in parallelo a due raddrizzatori eguali ma opposti l'uno all'altro nel senso di conduzione.

Quando l'alternanza positiva è applicata al raddrizzatore «D1», la corrente trova una alta resistenza, per cui può passare soltanto attraverso il raddrizzatore «D2», e quindi attraverso «R3», dopo di che ritorna al generatore attraverso «R2», mentre, durante l'altra alternanza, la corrente percorre il circuito del raddrizzatore «D1», «R3», nel medesimo senso dell'alternanza precedente, e quindi torna al generatore attraverso «R1».

Vedremo in seguito l'importanza e l'utilità di questo sistema, comunque è bene sapere già sin d'ora che in questo caso la tensione raddrizzata è pari alla metà di quella alternata, in quanto praticamente viene rettificata soltanto la tensione presente ai capi di una delle resistenze del partitore, ossia, alternativamente «R1» ed «R2». La tensione continua è presente tra i punti «A» e «B».

Strumenti con raddrizzatore

Sostituendo uno strumento a bobina mobile alle resistenze, così come si vede nelle figure 41 G e 42 G stesse, è possibile effettuare misure in corrente alternata.

Quest'ultima, trasformata — come abbiamo testé visto — in corrente pulsante grazie alla azione del raddrizzatore, passa attraverso l'equipaggio mobile dello strumento, permettendo all'indice di indicare il valore medio della corrente stessa. Come nel caso dello strumento a ferro mobile, l'inerzia dell'equipaggio impedisce all'indice di seguire le variazioni di ampiezza.

La corrente media che percorre la bobina nel caso di rettificazione delle due semionde differisce da quella che si ha nel senso di rettificazione di una semionda sola.

Nel primo caso, il valore medio è pari a 0,637 volte il valore di cresta poiché si utilizza l'intero ciclo: l'indice assume allora una posizione corrispondente al valore di picco moltiplicato per 0,637. Tuttavia, come enunciato, la scala è tarata in valore efficace, ossia il valore indicato dall'indice sarà 0,707 volte il valore di cresta.

Nel caso invece di rettificazione di una sola semionda, la corrente della bobina mobile sarà presente durante un solo semiperiodo. A causa

della sua inerzia, l'indice non potrà seguire tutte le variazioni di ampiezza durante l'intero ciclo.

Sappiamo che il valore medio durante un semiperiodo è pari a 0,637 volte il valore di picco, ma durante l'altro semiperiodo esso è zero, per cui la corrente media del ciclo completo è pari alla somma delle due alternanze divisa per due.

La corrente media del ciclo completo è data da (0,637 - 0) : 2 = 0,318 volte il valore di picco. In tali condizioni l'indice assume allora una posizione che indica 0,318 volte la corrente di picco. Tuttavia, questo punto può essere contrassegnato egualmente col valore efficace corrispondente a 0,707 volte la corrente, dato che il rapporto si mantiene costante su tutta la scala.

Circuiti pratici

Per effettuare misure di tensione, lo abbiamo visto, è necessario collegare resistenze addizionali in serie all'equipaggio mobile ed al raddrizzatore. In seguito a ciò, l'efficienza di quest'ultimo viene ridotta, in quanto nessun raddrizzatore può essere perfetto, ed esiste sempre una certa resistenza. Nella fase di conduzione la resistenza del raddrizzatore è bassa; ma la resistenza sul senso opposto non è infinita.

Vediamo ora come l'aggiunta di un'alta resistenza in serie al raddrizzatore diminuisca la sua efficienza.

Supponiamo, ad esempio, che un equipaggio mobile presentante una resistenza di 50 ohm venga collegato in serie ad un raddrizzatore avente una resistenza di conduzione di 1.000 ohm (si tratta, in realtà di una resistenza alquanto alta, ma ciò serve solo come ipotesi).

In tal caso lo strumento viene ad avere una resistenza interna di 1.050 ohm in un senso, e di 50.050 ohm nell'altro. Agli effetti pratici, la corrente scorre nello strumento in una sola direzione (vedi sez. **A** della **figura 44G**). Supponiamo ancora che la tensione da misurare sia elevata, e che sia perciò necessario porre una resistenza da 100.000 ohm in serie al circuito, come nella sez. **B** della medesima figura.

In una alternanza, la resistenza totale comprende la resistenza addizionale di 100.000 ohm, la resistenza di conduzione « Rd » del raddrizzatore (ossia 1.000 ohm) ed infine la resistenza della bobina mobile « R » di 50 ohm, per cui ammonta a 101.050 ohm. Nell'alternanza successiva il raddrizzatore non conduce, ed essendo allora la sua resistenza di 50.000 ohm, quella totale assume il valore di 150.000 ohm (sez. B figura 44 G).

Le due resistenze, presenti nei due semiperiodi, sono perciò rispettivamente di 105.050 e di 150.050 ohm; la differenza come si vede non è elevata, quindi la corrente che scorre è pressoché eguale nei due sensi. In conseguenza di ciò la deflessione dell'indice è piccola, e corrisponde alla sola differenza tra i due valori.

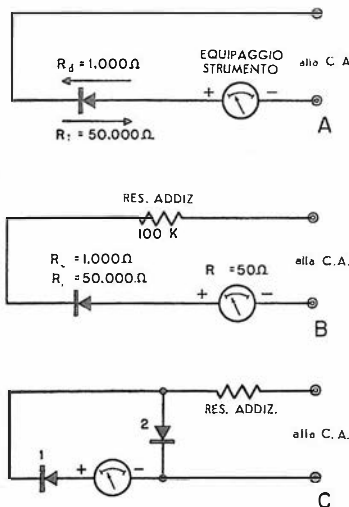


Fig. 44 G - Nel circuito A la resistenza totale è di 1050 ohm in un senso, e di 50 050 nell'altro e quindi vi è notevole differenza, ma, se si deve aggiungere una resistenza elevata (resistenza addizionale per letture alte), come in B, si ha 101 050 contro 150 050 ohm e la differenza risulta percentualmente scarsa; per rimediare si adotta allora lo schema C.

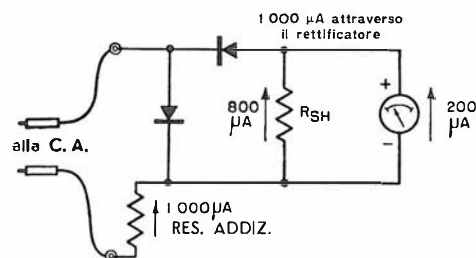
Fig. 45 G - Se si inserisce uno « shunt » (R_{SH}) allo strumento, si ha sempre un più elevato passaggio di corrente nei raddrizzatori, ciò che elimina l'influenza delle differenti resistenze degli stessi a regimi diversi di corrente quali si hanno nelle diverse portate.

Per rimediare alla rettificazione insufficiente derivante dall'aggiunta di una resistenza addizionale in serie di valore elevato, si usa generalmente un raddrizzatore a doppia semionda, come nella sez. **C** della figura 44 G: in un primo semiperiodo si verifica la rettificazione di una semionda, per cui la corrente passa attraverso lo strumento ed il raddrizzatore «1»; durante il semiperiodo successivo la corrente passa attraverso il rettificatore «2», trascurando lo strumento ed il primo raddrizzatore.

Altre esigenze

La resistenza di conduzione di un raddrizzatore varia col variare dell'ammontare della corrente che lo percorre, e varia inoltre da elemento a elemento. Per compensare tale inconveniente — ossia per evitare errori nelle indicazioni — il circuito dello strumento deve essere accuratamente progettato.

Dal momento che la resistenza di conduzione può variare, ad esempio, per una variazione di corrente nel raddrizzatore da 0,1 ad 1 mA, la taratura dello strumento non risulta lineare. Se si collega uno « shunt » in parallelo alla bobina mobile, ed entrambi vengono poi collegati in serie ad un raddrizzatore, attuando la configurazione circuitale di **figura 45 G**, la difficoltà suddetta risulta parzialmente eliminata, come appunto ora dimostreremo praticamente.



Ad esempio, se lo strumento ha una sensibilità di 200 μA e la resistenza dello « shunt » è di 1/4 di quella della bobina mobile, la corrente che percorre tale « shunt » sarà il quadruplo di quella che percorre l'equipaggio mobile; quando l'indice si trova a fondo scala, 800 μA scorrono nello « shunt », 200 μA nella bobina mobile, ed una corrente totale di 1.000 μA — ossia 1 mA — scorre attraverso il raddrizzatore. In questo caso, anche nelle letture più basse, il rettificatore viene percorso da una notevole corrente grazie all'uso dello « shunt », per cui la sua variazione di resistenza è trascurabile.

Tuttavia, dal momento che in questo caso la resistenza viene percorsa da una corrente di 1 mA per l'intera deflessione dell'indice, lo strumento viene ad avere in effetti una bobina mobile da 1 mA invece che da 200 μA. È cosa comune trovare in commercio degli strumenti multipli o multimetri, aventi una sensibilità in

« ohm per volt » differente per le portate in c.c. da quella per le scala a c.a.; nei modelli più comuni, le portate in c.a. sono a 1.000 ohm per volt e, nei tipi migliori sono a valore più alto (2000-5000 ohm per volt) ed anche oltre.

La scala può essere pressoché lineare se i valori degli « shunt » vengono scelti in modo appropriato, per cui essa potrebbe essere utilizzata sia per le portate in c.c. che per quelle in c.a. tuttavia, i multimetri o « tester » sono quasi sempre muniti di scale con contrassegni separati per la c.a. (**figura 46 G**).

I circuiti degli strumenti possono comprendere una o più resistenze variabili per compensare le variazioni che possono verificarsi se il raddrizzatore dovesse essere sostituito (« R1 » e « R2 » nella **figura 47 G**).

Per la taratura, si applica una tensione di valore noto, dopo di che, dette resistenze vengono variate fino ad ottenere una lettura esatta da parte dello strumento, ossia coincidente con la sua scala; fatto ciò la ritaratura è ultimata.

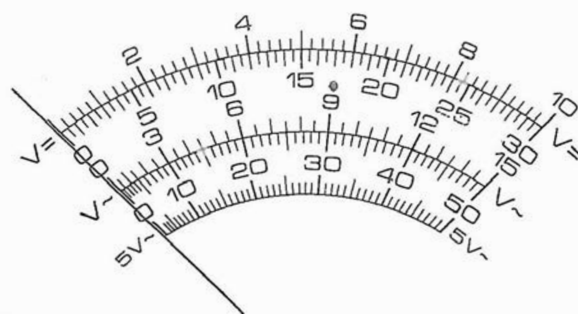


Fig. 46 G - La diversa sensibilità dei complessi di misura (« tester ») alla corrente alternata ed alla corrente continua porta alla presenza di scale separate per i due tipi di misura, come dal disegno di cui sopra. Si noti anche che non vi è coincidenza tra le due serie di scale. Il punto segnato 9V in alternata (scala 15) dovrebbe essere sulla direttrice del 18 in c.c. (scala 30); esso invece coincide con il trattino del 17.

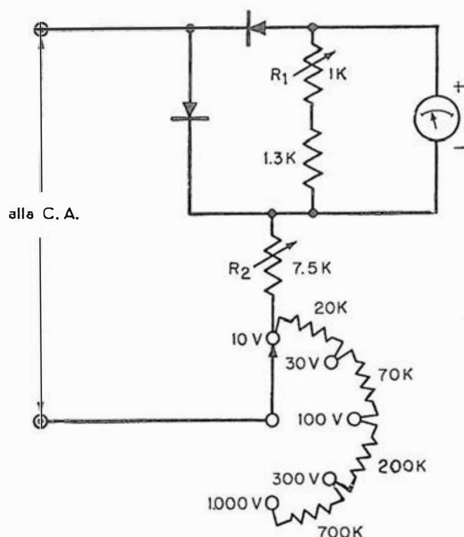


Fig. 47 G - R_1 ed R_2 sono resistenze a valore regolabile, utili per la taratura del misuratore: se si devono sostituire i raddrizzatori, con la loro regolazione si può ripetere la taratura.

Caratteristiche dei raddrizzatori

I rettificatori possono avere una lunga durata se non vengono sovraccaricati, ma si deteriorano rapidamente se vengono impiegati ad una temperatura al di sopra dei 70 °C.

Precisione e responso di frequenza. Dal momento che l'inesattezza dello strumento si aggiunge a quella del raddrizzatore, la precisione dell'assieme si aggira di solito intorno al ± 5%.

Quando la frequenza della tensione o della corrente da misurare aumenta, la lettura — ossia l'indicazione da parte dell'indice — diminuisce in proporzione. Ciò avviene a causa della capacità dell'unità rettificatrice. Infatti, ad ogni aumento della frequenza, corrisponde una diminuzione della reattanza capacitiva che si comporta come un passaggio a bassa resistenza in parallelo all'elemento stesso. Le letture rispetto alla frequenza di rete diventano già dal 0,5 all'1% inferiori attorno ai 5.000 Hz se il raddrizzatore è a ossido di rame.

Per questo motivo, gli strumenti in questione non vengono impiegati per effettuare misure con frequenze superiori a quelle udibili (fino a 16.000 Hz). Ad esempio, se si misura una corrente avente una frequenza di 20.000 Hz, lo strumento darà una lettura inferiore a quella effettiva di un ammontare variabile dal 2 al 3% a seconda del tipo usato.

Ricorderemo infine che la scala tende ad essere non uniforme verso il lato più basso a causa della variazione di resistenza del raddrizzatore col variare della corrente che lo percorre, come già abbiamo visto.

Gli strumenti provvisti di rettificatore possono essere usati sia per misure di tensione che di corrente. Nei confronti dei tipi già visti, a ferro mobile, essendo gli strumenti in questione di sensibilità molto maggiore, si ha un'influenza trascurabile sulle caratteristiche del circuito sotto prova.

Confronto letture c.c. - c.a.

Gli strumenti per c.a. — ricordiamo — sono tarati sul valore efficace di un'onda sinusoidale, sebbene misurino il valore medio.

Quando un misuratore per alternata viene inserito ai capi di una c.c. la lettura è pari a 1,11 volte il valore effettivo (fattore di forma). Nel caso contrario, quando cioè uno strumento per c.c. viene usato per misurare una c.a., non si ottiene alcuna lettura; a causa della sua inerzia, l'equipaggio mobile non è in grado infatti di seguire le variazioni della corrente, per cui l'indice rimane a zero oppure vibra impercettibilmente.

Ciò non significa però che non passi alcuna corrente attraverso lo strumento; infatti, in queste condizioni è facile deteriorare uno strumento, adattato ad una portata bassa, collegandolo ad una tensione alternata alta, anche se non si nota alcuna deviazione da parte dell'indice.

Nell'uso di uno strumento per c.a. non è necessario osservare la polarità dato che, come sappiamo, essa si inverte continuamente.

Nel caso si debbano misurare correnti alter-

nate ad andamento non sinusoidale, è necessario controllare non solo l'ampiezza, ma anche la frequenza e la forma d'onda.

Per questi scopi si usano allora altri strumenti che vedremo a suo tempo: tra essi prevale in particolar modo un'apparecchiatura oggi sempre più diffusa: l'**oscillografo**. Tale utilissimo strumento sarà dettagliatamente analizzato e presentato in successive lezioni.

Un altro strumento molto importante ed abituale nei laboratori è, come abbiamo detto all'inizio di lezione, il **voltmetro elettronico**, detto anche nei suoi primi modelli, voltmetro a valvola. Per logiche ragioni di programma non abbiamo ancora affrontato l'argomento valvole e transistori, ma ad essi abbiamo fatto cenno qualche volta: la valvola ed il transistore sono preziosi dispositivi che possono svolgere molte funzioni nei circuiti elettronici, in particolare, funzioni di amplificazione. Opportunamente sfruttando le loro caratteristiche si possono realizzare — in uno studiato abbinamento con lo strumento indicatore a bobina mobile — apparecchiature di lettura di tensioni sia a corrente continua che, soprattutto, a corrente alternata a radiofrequenza, di sensibilità molto spinta e di resistenza di carico (sul circuito sotto misura) elevatissima (**figura 48 G**).

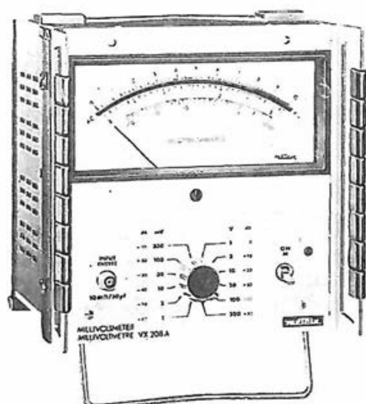


Fig. 48 G - Voltmetro per corrente alternata che permette misure di valori compresi tra 1 millesimo di volt e 300 V. efficaci, per frequenza da 15 Hz a ben 10 MHz. Incorpora un preamplificatore con alta impedenza d'entrata (10 M Ω) e bassa capacità (30 pF), un amplificatore ad elevato guadagno, un rivelatore ed un galvanometro a scale lineari.

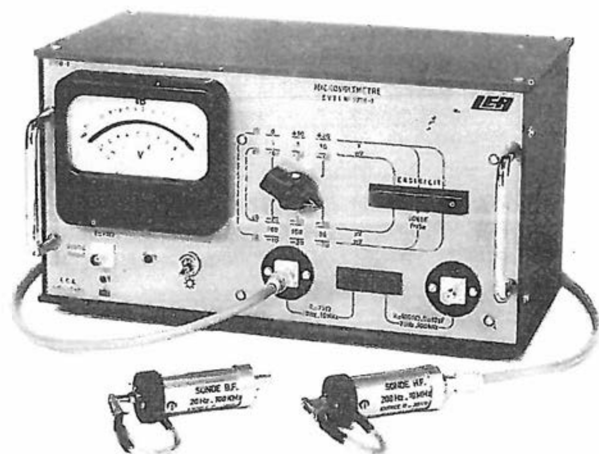


Fig. 49 G - La sensibilità di questo strumento è dell'ordine del milionesimo di volt: esso è perciò correntemente denominato « microvoltmetro ». Misura tensioni a partire da 10 μ V e giunge sino a 100 V. Il campo di frequenza si mantiene ± 0,5 dB tra 20 Hz e 3 MHz e ± 1 dB a 10 MHz. Si notino le due sonde: l'una per B.F. e l'altra per radiofrequenza.

La sensibilità, per i tipi di apparecchiature più correnti, arriva spesso all'ordine del millivolt (millesimo di volt) e la resistenza, o meglio la impedenza di ingresso, a valori attorno ai 10 Megaohm. Alcuni tipi di misuratore danno letture anche di milionesimi di volt (**figura 49 G**).

A corredo dei voltmetri elettronici sono quasi sempre offerte speciali « sonde » che consentono ulteriori, particolari prestazioni: così, mediante un dato tipo, si può estendere, ad esempio, la gamma di frequenza entro la quale le letture sono attendibili sino a 200-300 Megahertz.

Un'altra sonda permette letture di picco della tensione alternata sulle scale per corrente continua, un'altra ancora, estende sino a 30.000 volt la possibilità di lettura. Tali sonde, realizzate a puntale, sono interposte, all'esterno, tra il voltmetro ed il punto in esame del circuito.

Misure di frequenza

Gli apparecchi elettrici a corrente alternata sono destinati a funzionare entro una determinata gamma di frequenze. In certi casi particolari poi, come quelli tipici degli orologi elettrici e dei commutatori a tempo, condizione indispensabile per un corretto funzionamento del dispositivo è l'applicazione di una tensione alternata associata ad una frequenza ben definita.

Per esempio nel caso degli orologi elettrici — che devono funzionare con una frequenza di 50 Hz — se detta frequenza dovesse per caso ridursi a 49, l'orologio subirebbe un ritardo di un minuto per ogni ora.

Anche i trasformatori e le macchine in corrente alternata sono progettati per funzionare ad una frequenza ben definita, tanto è vero che, se la frequenza dovesse diminuire di una entità superiore al 10% rispetto al valore nominale, il dispositivo consumerebbe una corrente eccessiva, il che porterebbe ad un pericoloso aumento di temperatura. I casi che abbiamo esposto mostrano evidentemente che è cosa assai utile poter controllare la frequenza associata ad una potenza elettrica alternativa destinata all'alimentazione di un qualsiasi impianto.

Per misurare il valore della frequenza onde apportare le opportune correzioni nel caso questa dovesse variare oltre i limiti prescritti, ci si serve dei così detti frequenzimetri.

Questi strumenti di misura devono essere realizzati tenendo conto che non devono venir influenzati da variazioni di tensione. Poiché gli apparecchi in corrente alternata sono previsti per funzionare di solito con una frequenza ben definita, la portata di misura dei frequenzimetri può essere limitata a consentire misure entro un piccolo intervallo intorno alla frequenza nominale.

Esistono numerosi tipi di frequenzimetri fra i quali ricorderemo quello a lamelle vibranti, quello a bobina fissa e mobile, quello a bobina fissa e disco mobile ed il tipo a circuito risonante.

Frequenzimetro a lamelle vibranti. È uno dei più semplici dispositivi per valutare la frequenza di una sorgente di tensione alternata a frequenza bassa. La struttura costruttiva di un frequenzimetro a lamelle vibranti è illustrata in **figura 50 G.**

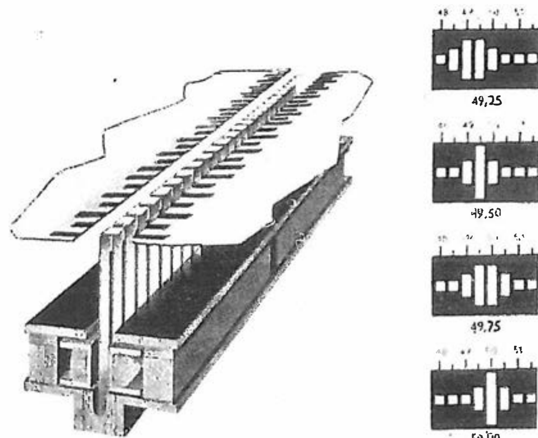


Fig. 50 G - Per la misura di frequenze basse vengono costruiti degli strumenti che basano il loro funzionamento sulla vibrazione di lamine aventi caratteristiche meccaniche di risonanza nel campo interessato. Esse sono preventivamente tarate (agendo sul peso e, a volte, sulla lunghezza). Si possono ottenere indicazioni alquanto precise come si osserva sul lato della figura che illustra quattro risonanze.

La corrente di cui occorre valutare la frequenza fluisce attraverso una bobina ed esercita la massima attrazione su di un'armatura di ferro dolce due volte durante ciascun ciclo completo. L'armatura è fissata su un blocchetto montato a sua volta su di un supporto flessibile.

Lamelle di opportune dimensioni tali da avere delle frequenze naturali di vibrazione pari a 90, 92, 94 e così via fino a 110 cicli al secondo, sono montate sul blocchetto precedentemente citato. La lamella che ha una frequenza di risonanza propria di 90 Hz è segnata « 45 » Hz, quella la cui risonanza è di 92 Hz è segnata « 46 » Hz, e così via.

Quando la bobina viene eccitata con una corrente che associa una frequenza compresa fra 45 e 55 Hz, tutte le lamelle entrano in debole vibrazione, ma quella che possiede una frequenza naturale di vibrazione più prossima a quella della corrente di eccitazione (e della quale appunto occorre misurare la frequenza) entra in vibrazione con una ampiezza maggiore.

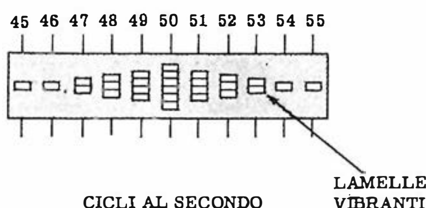


Fig. 51 G - Visto frontalmente il frequenzimetro a lamine denuncia la risonanza con la maggiore ampiezza di vibrazione. Questi strumenti sono quasi sempre impiegati per le frequenze industriali (reti). In elettronica l'esigenza di un ampio campo di frequenza porta alla adozione di apparecchi di tutt'altro tipo; uno di essi, per letture da 0 a 100 000 Hz, è descritto, per l'eventuale costruzione, nella lezione relativa agli apparecchi di misura.

La valutazione della frequenza si ottiene leggendo sulla scala di valori quello in corrispondenza alla lamella che vibra con maggior ampiezza. In alcune varianti dello strumento citato le lamelle sono tutte della stessa lunghezza ma hanno una massa differente per cui ciascuna di esse presenterà una diversa frequenza naturale di vibrazione.

L'aspetto delle lamelle vibranti sul quadrante di lettura è illustrato in **figura 51 G.**

Se la corrente di eccitazione associa una frequenza di 50 cicli al secondo, la lamella segnata « 50 » vibrerà con la massima ampiezza come è appunto illustrato.

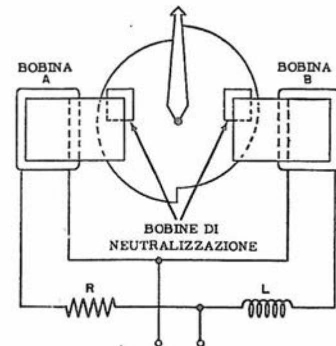


Fig. 52 G - Aspetto schematico di un frequenzimetro del tipo detto a disco mobile. Le due bobine di magnetizzazione sono connesse in serie l'una ad una resistenza e l'altra ad una induttanza; da qui un diverso comportamento della corrente che circola in esse.

Frequenzimetro a disco mobile. La struttura di un frequenzimetro a disco mobile è illustrata alla **figura 52 G.** Ciascuna doppia espansione polare reca una spira cortocircuitata detta bobina di neutralizzazione, mentre sul rispettivo nucleo del circuito magnetico è avvolta una bobina di magnetizzazione.

Come avviene nei motori a induzione con polo neutralizzato, il campo magnetico tende a produrre una rotazione intorno alla spira cortocircuitata. Una delle bobine spinge il disco a muoversi nella direzione oraria, mentre l'altra, nella direzione opposta.

La bobina di magnetizzazione A è collegata in serie con una resistenza di notevole valore.

La bobina B è invece connessa in serie con una induttanza ed i due circuiti sono alimentati in parallelo dalla sorgente di frequenza incognita. Per un determinato valore di tensione, la corrente che fluisce attraverso la bobina A può ritenersi praticamente costante, tuttavia, la corrente nella bobina B varia in ragione inversa con la frequenza.

Quanto più elevata è la frequenza tanto superiore sarà la « reattanza induttiva » vale a dire — come vedremo in appresso — la resistenza alla corrente alternata presentata dalla bobina B. Si avrà il fenomeno contrario quanto più bassa invece sarà la frequenza. Il disco ruota allora nella direzione determinata dalla bobina nella quale si ha la massima intensità di corrente.

Se il disco fosse perfettamente circolare esso manifesterebbe la tendenza a ruotare in modo continuo, ma poiché ciò non è desiderabile il disco presenta una struttura tale che gli consente soltanto una rotazione parziale nei due sensi, rispetto alla posizione di riposo che individua normalmente la frequenza di 50 Hz (quella nominale della rete alternata di alimentazione).

PER VEDERE L'ALTERNATA

Il tubo a raggi catodici



Il tubo di Braun

Nel 1898, quando la valvola termoionica, il meraviglioso dispositivo in grado di amplificare e generare segnali, non era ancora nota, uno scienziato che si occupava di ricerche fisiche, Karl F. Braun, creò un tipo particolare di valvola.

La costruzione era relativamente semplice, come è illustrato schematicamente alla **figura 53 G.**

Si trattava in sostanza di un elettrodo metallico (« K »), collocato internamente ad una delle estremità di un involucro di vetro e munito di un collegamento che si prolungava attraverso il vetro stesso verso l'esterno.

Un secondo elettrodo metallico (« A ») era posto internamente al tubo ad una certa distanza dal primo, lungo l'asse. Tale elettrodo era prolungato verso l'alto, ed un conduttore ad esso connesso sporgeva attraverso il bulbo onde consentire anche ad esso un collegamento elettrico.

All'incirca in corrispondenza della metà della lunghezza del tubo, si trovava una specie di diaframma, o piastrina circolare munita di un foro al centro: questo diaframma (« B ») era collocato quasi alla fine della parte stretta, detta « collo », e si adattava perfettamente al diametro interno del tubo.

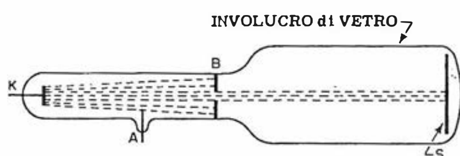


Fig. 53 G - Il tubo ideato da Braun può essere considerato la base di partenza del tubo a raggi catodici odierno. Necessitava di una tensione molto elevata, applicata tra l'elettrodo « K » (definibile come catodo) e l'elettrodo « A » (definibile anodo) per dar luogo ad un fascio di cariche negative (elettroni) che, attraversando una foratura del diaframma « B » colpiva « S » rendendolo luminescente.

Un ultimo elettrodo (« S ») isolato, sul quale era stato depositato un sottile strato di speciali sostanze chimiche, era installato all'altra estremità del tubo, ed appoggiato contro la superficie interna della parte piatta. Quest'ultimo elettrodo era lo « schermo ».

Nel tubo veniva praticato il vuoto. Tra **K** (elettrodo negativo, e come tale definito **catodo)** ed **A** (elettrodo positivo, e come tale definito **anodo)** veniva applicata una differenza di potenziale notevole, pari a circa 50 000 volt, con polarità tale che l'anodo risultasse positivo rispetto al catodo.

L'alta differenza di potenziale presente tra i due elettrodi citati determinava l'estrazione forzata di « cariche negative » dal catodo, e lo spostamento di queste cariche, rapidissimo e progressivamente accelerato, verso lo schermo.

All'epoca in cui tale tubo fu sperimentato, l'identificazione delle cariche emesse dal catodo con gli elettroni propriamente detti era ancora in dubbio. Era stato tuttavia assodato che dette particelle catodiche recavano cariche negative, e che potevano essere attratte da un elettrodo polarizzato con un potenziale positivo.

Non fu che vari anni dopo che le cariche negative stesse furono riconosciute come "elettroni" secondo il concetto moderno. Di conseguenza, non è affatto strano che le particelle estratte dal catodo dessero al dispositivo il nome di « tubo a raggi catodici ».

Le cariche negative si staccavano dal catodo, distribuendosi nello spazio circostante con un movimento direzionale in avanti, come illustrato dalle linee tratteggiate, nella stessa figura 53 G. A causa però del diaframma, (« B »), la maggior parte di esse veniva intercettata dalla piastrina che conteneva il foro. Ciò nonostante, esse penetravano in numero sufficiente nell'apertura, e continuavano il loro spostamento fino allo schermo, costituendo così una debole corrente.

La loro presenza nel tubo, ed il loro arrivo sullo schermo, erano denunciati da una luminescenza di quest'ultimo nel punto colpito direttamente dal fascio delle cariche. Tale fenomeno prende il nome di « fluorescenza ».

Scopo ultimo del tubo era quello di costituire un mezzo atto ad indicare gli spostamenti di un raggio catodico (con lo spostamento del punto) sotto l'influenza di campi magnetici o elettrostatici.

La necessità della presenza di una tensione particolarmente elevata sull'anodo del tubo di

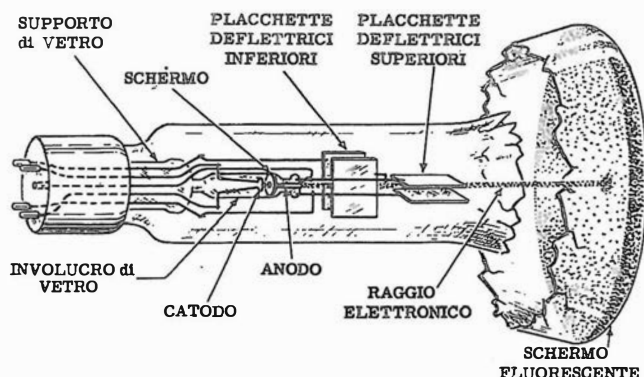


Fig. 54 G - L'emissione elettronica a mezzo di un elemento portato ad alta temperatura (filamento-catodo) e le placchette di deviazione interne sono i vantaggi più rilevanti attuati da Johnson nel tubo originario di Braun.

Braun, allo scopo di estrarre gli elettroni dal catodo, impose però numerose e serie limitazioni all'utilità del dispositivo.

Per deflettere il fascio elettronico

Dal momento che gli amplificatori erano allora sconosciuti, e che l'alta tensione anodica dava alle cariche che costituivano il raggio una notevole velocità, si poteva deviare quest'ultimo solo allorché erano disponibili tensioni e correnti di valore molto alto con le quali creare campi magnetici ed elettrostatici sufficienti.

Tra i vari sistemi per introdurre un campo **elettrostatico** è da annoverarsi l'applicazione di una coppia di placchette parallele, tra le quali sia presente una grande differenza di potenziale.

Le placchette in questione venivano applicate su due lati opposti dell'involucro del tubo, lungo il percorso del raggio compreso tra il diaframma e lo schermo.

Il campo di deflessione **elettromagnetica** fu invece ottenuto mediante due avvolgimenti piatti collegati in serie tra loro e percorsi da corrente; ciascuno di essi era collocato ad un lato del tubo, coassialmente, in modo tale che i due campi rispettivi si sommassero.

Il tubo di Johnson

J.B. Johnson creò in seguito un nuovo tipo di tubo, che da lui prese il nome e che fu presentato nel 1921. Anche questo tipo, illustrato alla **figura 54 G**, consisteva di un involucro di vetro, ed aveva la forma caratteristica di un imbuto, col collo stretto che, ad un certo punto, si allargava per poi terminare ad una superficie piana di chiusura.

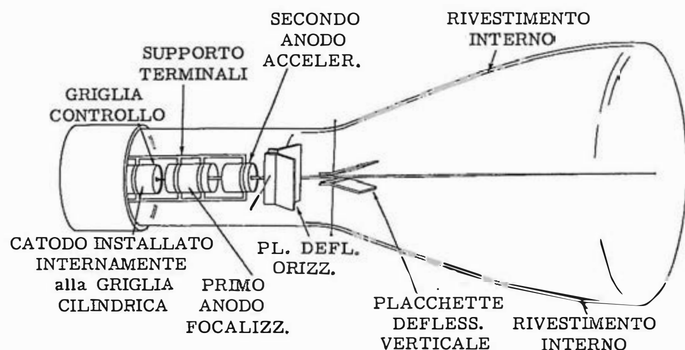


Fig. 55 G - Ulteriori perfezionamenti (ad esempio, un secondo anodo acceleratore; sostanze fluorescenti più efficaci, a diversa persistenza, a diverso colore, ecc.) portarono al tubo attuale, la tendenza costruttiva del quale è ora per uno schermo rettangolare.

All'interno della parte stretta era installato un filamento che poteva essere reso incandescente ad opera della corrente erogata da una batteria esterna, fino a raggiungere una temperatura abbastanza elevata, ciò che consente l'emissione di elettroni come avviene nelle comuni valvole che esamineremo tra breve.

Immediatamente al di sopra della parte emittente del filamento, si trovava un dispositivo consistente in uno schermo, nel quale era praticato un piccolo foro, ed un anodo tubolare. Detti componenti, ossia il filamento, lo schermo e la parte dell'anodo, erano installati sopra un supporto di vetro.

L'anodo veniva polarizzato mediante la tensione di una batteria che lo rendeva positivo di circa 300 volt rispetto al filamento, per cui gli elettroni ne venivano attratti.

Quelli che riuscivano a passare attraverso la piccola apertura praticata nello schermo, passavano successivamente attraverso il tubetto cavo che costituiva detto anodo, ed entravano nella parte più ampia del tubo, dirigendosi verso lo schermo.

Quest'ultimo consisteva di un sottile deposito di sostanze speciali, applicate alla superficie interna della parete frontale del tubo stesso. Attraverso detta parete, di vetro, e perciò trasparente, era possibile osservare la fluorescenza provocata dal raggio catodico.

Il vantaggio di questo tipo di tubo consisteva nel fatto che, dal momento che l'emissione di elettroni era dovuta all'incandescenza del filamento, non era più necessario disporre di una tensione eccessivamente elevata sull'anodo.

Il compito del potenziale positivo presente sull'anodo era pertanto solo quello di « accelerare » il movimento degli elettroni assorbendone una quantità minima, e dando loro una velocità sufficiente affinché costituissero un raggio che potesse giungere fino allo schermo.

Due coppie di placchette parallele furono poi installate all'interno, ad angolo retto tra loro, ed una sull'altra rispetto alla direzione del raggio.

Il loro compito consisteva nel determinare la deviazione o « deflessione » del raggio: erano sistemate in modo tale che il raggio, nella sua direzione naturale, passasse esattamente al centro dello spazio presente tra ognuna delle due coppie affacciate.

L'adozione della deviazione elettrostatica, ottenuta con tali placchette, costituì un passo avanti nel progetto e nella fabbricazione, nonché nell'utilizzazione dei tubi a raggi catodici.

Il tubo Johnson fu il primo ad impiegare « due paia » di placche deflettrici per determinare la deviazione del raggio, ed il primo ad adottare il dispositivo in questione come parte integrante di questo tipo di valvola indicatrice. Le placchette deflettrici erano disposte in due coppie tra loro perpendicolari, come si è

detto, e ciò per consentire la deviazione del raggio in due sensi ortogonali.

Oltre al vantaggio di una minore tensione anodica, il tubo di Johnson presentava quello di implicare la necessità di una intensità di campo notevolmente inferiore agli effetti della deviazione del raggio, grazie alla minore velocità degli elettroni nel campo soggetto a tali effetti.

L'innovazione permise un notevole aumento della sensibilità. Oltre a ciò, i miglioramenti successivamente apportati alle sostanze costituenti la superficie fluorescente consentirono di ottenere immagini più nitide.

Per ultimo, furono apportati alcuni miglioramenti alla struttura dei vari elementi, specie nei confronti della distanza tra gli elettrodi di ogni coppia deflettrice, allo scopo di aumentare la sensibilità, ossia di consentire deflessioni più ampie con differenze di potenziale minori.

Il fascio elettronico non poteva però seguire rapidamente le variazioni della tensione applicata alle placchette deflettrici, a causa della presenza di ioni dovuta a gas, che rendevano il fascio stesso relativamente « pesante ».

Il risultato fu che il limite massimo della frequenza di deviazione fu pari a circa 100 000 Hz. Tale limite era in effetti troppo basso per adattarsi alle esigenze dell'elettronica in continuo sviluppo: a quell'epoca infatti esistevano già apparecchi funzionanti a radiofrequenza. Il vantaggio rispetto al tubo di Braun (che limitava la frequenza stessa a 50 o 100 Hz al massimo), sebbene notevole, non era perciò sufficiente.

I tubi attuali

Il tubo a raggi catodici nel suo aspetto attuale, illustrato alla **figura 55 G**, è paragonabile al tubo di Johnson nella sua caratteristica di deviazione elettrostatica.

In un primo tempo, venne impiegato questo solo sistema di deflessione, mentre più tardi assunse grande importanza (per la televisione) l'altro sistema, quello basato cioè sull'influenza che un campo magnetico ha sul raggio catodico.

La versione moderna del tipo elettrostatico è un po' più complessa di allora; ciò ha consentito notevoli miglioramenti agli effetti del funzionamento e delle prestazioni.

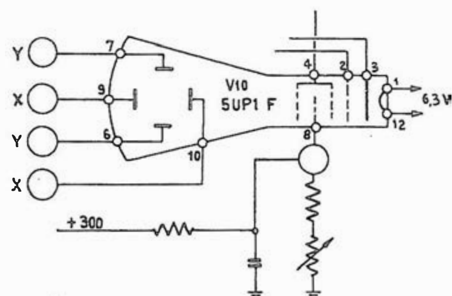


Fig. 56 G - Il tubo, con i suoi diversi elettrodi che fanno capo all'esterno ai diversi piedini dello zoccolo, viene raffigurato così come in figura, negli schemi. Si osservino le coppie di placche deflettrici caratteristiche della deflessione elettrostatica, quella di norma adottata per l'impiego del tubo nelle misure (oscillografi, ecc.).

Si ha un tubo di vetro nel quale viene praticato un vuoto molto spinto; l'emissione elettronica avviene ad opera di un catodo caldo.

La messa a fuoco del raggio, per determinare sullo schermo un punto di minime dimensioni e molto luminoso, viene effettuata con maggiore facilità di prima. Oltre a tutto, questo tipo di tubo presenta una notevole stabilità di funzionamento. Negli schemi viene rappresentato come in **figura 56 G.**

In diretto confronto col tubo di Johnson, il tubo moderno è un po' meno sensibile; ciò ha, tuttavia, un'importanza relativa, poiché gli amplificatori che oggi è possibile realizzare — grazie all'impiego di valvole o transistori — sono in grado di dare al dispositivo tutta la necessaria sensibilità adeguata alle varie esigenze. Le quali esigenze, ricordiamo, sono quelle di poter osservare sullo schermo il movimento del fascio conseguente ad una tensione che si vuole analizzare e valutare, anche se di frequenza molto alta.

La sorgente dell'emissione elettronica è, come si è detto, un catodo riscaldato direttamente (filamento), o indirettamente. All'interno è installato un insieme di elettrodi cilindrici, ai quali vengono applicate varie tensioni (a corrente continua). Queste ultime esercitano una azione di controllo sulla corrente di elettroni, variandone l'accelerazione e la concentrazione in un piccolo e ben definito punto in corrispondenza dell'impatto sullo schermo.

Lo schermo è costituito da un deposito di speciali sostanze applicate sulla superficie interna della parte che chiude l'imbuto, come nel tipo ideato da Johnson.

Fig. 57 G - Il primo a sinistra, è un tubo molto impiegato in questi ultimi anni negli oscillografi: è il 5-UP-1, con schermo, dal diametro di cm 13 circa (5 pollici) e traccia verde. Accanto ad esso, un tubo (a deflessione elettromagnetica) per impieghi professionali (ad esempio, analisi di diapositive, controllo di telecamere, ecc.); la traccia è bianca e la definizione dell'immagine molto elevata. Infine, due tubi (grande e piccolo schermo) rettangolari, per televisione.



Gli elettrodi installati internamente per la deviazione elettrostatica, agiscono su di uno spazio che viene attraversato dagli elettroni, dopo che questi si sono riuniti in un fascio o « raggio » per effetto delle tensioni applicate ai vari elettrodi che precedono.

Il tubo illustrato nella figura 55 G è solo un esemplare dei diversi tipi: ne esistono altri di differenti lunghezze e muniti di schermi di diverso diametro, oppure, come sempre più spesso avviene, di schermo rettangolare, come pure altri che impiegano campi elettromagnetici per compiere funzioni di vario genere. La **figura 57 G** ne illustra l'aspetto generico. Su ognuno di essi verranno forniti dettagli più avanti; tuttavia, siano essi a deviazione elettrostatica o elettromagnetica, la forma e l'aspetto esterno risultano simili a quelli illustrati. La **figura 58 G** mostra un tipo particolare.

Prerogative del tubo a r.c.

L'importanza del tubo a raggi catodici nel campo delle applicazioni elettroniche deriva dal numero elevato delle possibilità che esso offre, (alcune sono già state menzionate), e precisamente:

1) La possibilità di riprodurre, in maniera direttamente visibile, il modo con cui un campo elettrostatico varia di intensità, rendendo così otticamente percepibili « le variazioni istantanee della tensione » che determina la presenza del campo. In altre parole, consente di « vedere » la forma d'onda di tensione.
2) La possibilità di riprodurre, in maniera direttamente visibile, il modo con cui un campo elettromagnetico varia di intensità, rendendo così otticamente percepibili « le variazioni istantanee della corrente » che determina la presenza del campo. Anche in questo caso, consente di vedere la forma d'onda di corrente.

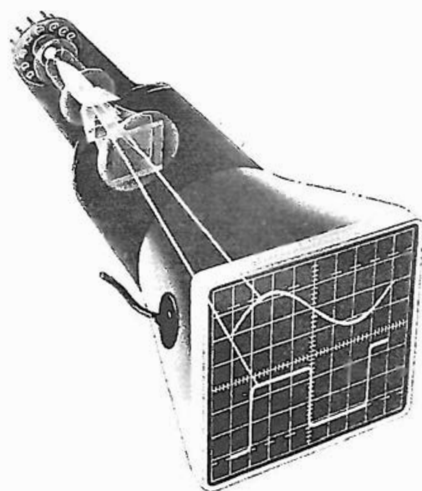


Fig. 58 G - Il tubo può essere anche costruito per generare due (o più) tracce. In questo modo si possono osservare contemporaneamente due fenomeni. Nell'illustrazione un tubo a doppio equipaggio, con schermo rettangolare di 8 × 10 cm.

3) L'attitudine da parte del raggio elettronico a seguire fedelmente le variazioni dell'intensità di campo di frequenze da 0 sino a molti MHz, il che consente di vedere l'andamento delle tensioni che hanno rapidi mutamenti (transitori) o forma di impulsi entro l'ampia gamma di frequenza citata.
4) La possibilità di controllare facilmente l'intensità della fluorescenza dello schermo, ossia la luminosità del punto destinato a muoversi per creare la traccia luminosa, da zero fino al valore massimo consentito da quel dato tubo.
5) La possibilità di spostare deliberatamente la posizione del punto luminoso, in qualsiasi zona dello schermo, modificando i campi di deflessione, le cui caratteristiche sono predeterminate. In tal modo, il punto dello schermo che viene colpito dal raggio elettronico può essere scelto automaticamente, ed è perciò possibile sviluppare qualsiasi forma desiderata.

Stante l'assieme di tutte queste possibilità, si può intuire che il tubo a raggi catodici costituisce un comodo dispositivo indicatore che, usato unitamente ad altri apparecchi di vario genere, può fornire una grande varietà di informazioni per l'esame visuale di segnali. Il tipo di informazione è determinato dalle caratteristiche degli apparecchi ad esso uniti a tale scopo.

I campi elettrostatici ed elettromagnetici ai quali si ricorre per variare il comportamento del raggio catodico, sono soltanto un mezzo per raggiungere un determinato scopo.

Qualsiasi caratteristica relativa ad una quantità periodica, come ad esempio la fase, la frequenza, l'ampiezza, il contenuto di armoniche, la durata, ed altre ancora, può essere rilevata agevolmente facendo in modo che il fenomeno che si desidera osservare determini la produzione del campo che provvede alla deviazione del fascio di elettroni.

Nella tecnica elettronica si verifica, spesso, la necessità di misurare la durata di un fenomeno molto breve. Il tubo a raggi catodici rappresenta un mezzo ideale per ottenere tale risultato, grazie alla caratteristica di responso alla frequenza del fascio.

Più breve è l'intervallo di tempo considerato — pari, ad esempio, a qualche microsecondo o anche ad una frazione di tale unità di tempo — maggiore è il valore del tubo, nei confronti di altri sistemi, come elemento indicatore e visualizzatore del fenomeno sia esso direttamente elettrico, sia di altra natura ovviamente trasformato all'uopo in andamento elettrico.

Facciamo osservare che la possibilità di spostare il raggio catodico in qualsiasi punto dello schermo, ed il controllo della sua luminosità grazie all'azione di determinate tensioni, costituiscono la base sulla quale è stato possibile realizzare la televisione.

L'immagine che si vede sullo schermo televisivo è infatti costituita da un punto luminoso che si sposta, variando contemporaneamente di intensità, e seguendo in ogni punto del suo movimento le caratteristiche dell'immagine originale teletrasmessa.

L'ELETTRONICA

IN 30 LEZIONI - TEORIA E PRATICA

Apparecchi di misura

8



RADIO - TRANSISTORI - CIRCUITI INTEGRATI - Hi-Fi - ANTENNE - TRASMISSIONE - APPLICAZIONI VARIE

Rivista culturale per la formazione professionale - esce il 10 - 20 - 30 di ogni mese - sped. abb. postale 3° Gr. - 70% - Lire 750

Come funziona il tubo a raggi catodici

Il tubo a raggi catodici non può essere impiegato da solo. È indispensabile che ad esso facciano capo appositi circuiti e, spesso, altre apparecchiature.

L'immagine visibile sullo schermo è una funzione dei relativi circuiti di cui sopra, e dei segnali di ingresso.

L'interpretazione che ne deriva è, a sua volta, determinata dallo scopo dell'intero assieme: in altre parole, nelle varie apparecchiature elettroniche, è possibile trovare impiegati tubi a raggi catodici aventi le medesime dimensioni e caratteristiche, ciascuno dei quali però fornisce dati diversi, ossia ha un diverso comportamento, a seconda dei circuiti che lo fanno funzionare.

È così possibile trovare tubi aventi caratteristiche elettriche e dimensioni diverse, che compiono invece la medesima funzione, in quanto i circuiti ai quali sono connessi sono analoghi e progettati per il medesimo scopo. Per tale motivo si usano — a volte — per lo stesso tipo di misura, tubi aventi schermo di diversa area.

Dal punto di vista delle applicazioni, i tubi a raggi catodici possono essere divisi in **due grandi categorie**: tubi adatti agli strumenti di misura e tubi adatti alla riproduzione di immagini televisive.

Tutti gli strumenti di misura muniti di un tubo a raggi catodici possono essere definiti « oscilloscopi » o « oscillografi a raggi catodici » o più comunemente « oscillografi ». In tali strumenti, di cui alcuni esemplari sono illustrati alla **figura 1 H**, il tubo a raggi catodici costituisce l'elemento che riproduce il fenomeno elettrico sul quale viene compiuta l'indagine.

L'indagine può essere di vario genere, a seconda delle caratteristiche delle apparecchiature usate in unione al tubo stesso, e delle caratteristiche del circuito sul quale dette indagini vengono effettuate. In pratica, tutte le tensioni e le correnti presenti in qualsiasi tipo di ricevitore, trasmettitore, oscillatore o amplificatore, e — virtualmente — in qualsiasi tipo di apparecchiatura elettronica, possono essere esaminate otticamente, ed è possibile determinare qualsiasi loro caratteristica.

La natura delle tensioni e delle correnti da esaminare, e la loro origine, costituisce assai di rado un fattore limitante.

Esistono degli accessori, tra i quali le cosiddette « sonde » che permettono l'adattamento a quasi tutti i punti presenti nei circuiti.

Dal momento che possono essere determinate le quantità elettriche, sullo schermo del tubo può essere reso chiaramente visibile sia il funzionamento del circuito, che l'eventuale relativa necessità di messa a punto, o anche di intervento per riparazione.

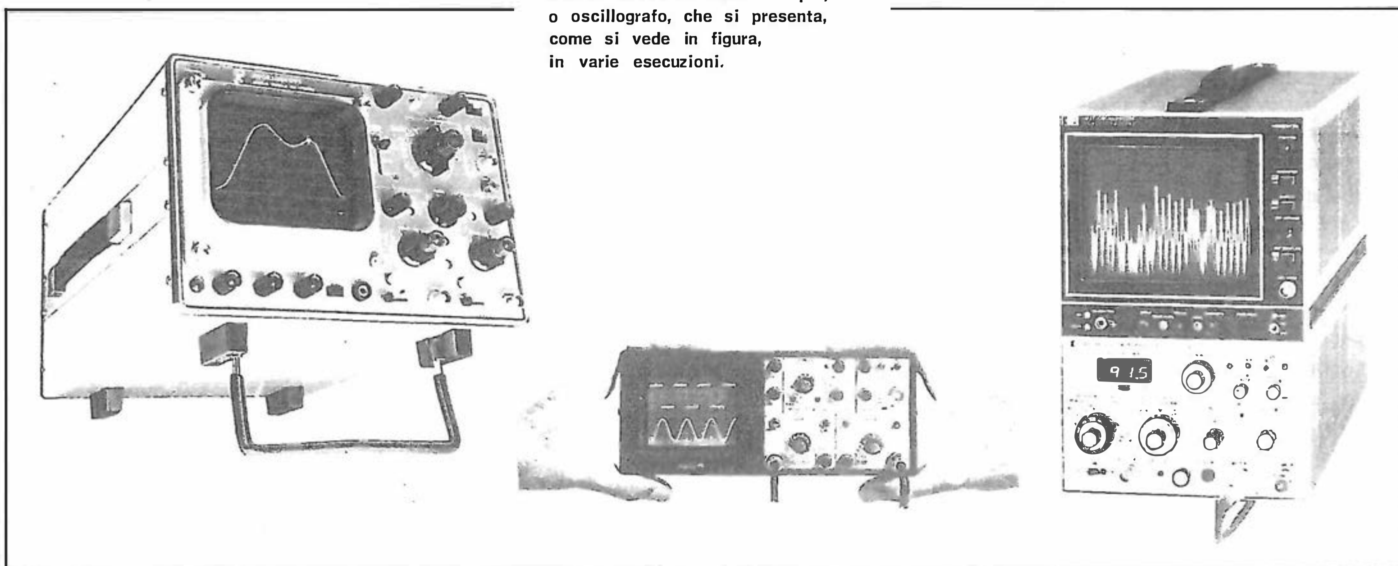
Richiamo alle cariche elettriche

Gli atomi che costituiscono tutta la materia sono formati — come sappiamo — da particelle elementari di elettricità, note sotto il nome di elettroni e protoni.

Le quantità di elettricità rappresentate da queste due particelle basilari si equivalgono, ma la carica di ogni singolo elemento è troppo piccola per avere un'utilità pratica.

Un corpo, elettricamente carico, contiene un eccesso o una deficienza di un gran numero di elettroni. La carica dei corpi solidi viene considerata in riferimento all'aggiunta (eccesso) e alla rimozione (mancanza) di elettroni invece che di protoni.

Fig. 1 H - Il tubo a raggi catodici viene utilizzato, in unione ad opportuni circuiti elettrici, per l'osservazione di fenomeni di diversa natura: l'apparecchio che ne deriva è l'oscilloscopio, o oscillografo, che si presenta, come si vede in figura, in varie esecuzioni.



Gli elettroni hanno una maggiore mobilità grazie alla loro massa notevolmente inferiore (pari ad 1/1850 di quella di un protone), e possono essere costretti a spostarsi da un luogo ad un altro con maggiore facilità.

Qualsiasi corpo che sia stato costretto ad assorbire un numero di elettroni maggiore di quanti esso ne contenga in condizioni normali, viene considerato carico di elettricità negativa. Viceversa, un corpo dal quale alcuni elettroni sono stati asportati viene considerato carico di elettricità positiva.

Campi elettrici e linee di forza

Come il lettore ricorderà, in quanto di tali argomenti si è parlato allorché sono stati esposti in princìpi essenziali dell'elettrostatica, i corpi carichi di elettricità reagiscono l'uno con l'altro in un modo determinato.

Ciò dimostra che tra i corpi esiste una forza. Per chiarire tale fenomeno fu introdotto il concetto del campo.

Rivediamo un momento i diversi concetti già esaminati, al fine di associarli con maggiore facilità alle relative applicazioni attuate nei riguardi del tubo a raggi catodici.

Un campo elettrostatico, chiamato a volte campo elettrico, è una zona nella quale sussistono delle forze elettriche, e rappresenta « energia », ossia attitudine a compiere un lavoro.

Detto lavoro viene compiuto sotto forma di una forza che si manifesta su altre cariche presenti nel campo stesso. Di conseguenza, il campo elettrostatico può essere considerato **un campo di forza.**

Una linea di forza elettrica deve avere una direzione che inizia dal corpo o dalla regione avente una certa polarità, ed è rivolta verso il corpo o regione di polarità opposta, come è illustrato alla **figura 2 H.**

Nel tubo a raggi catodici interessa soltanto l'effetto del campo sugli elettroni che costituiscono le cariche negative.

Per tale motivo, la direzione lungo la quale le linee di forza elettrostatica agiscono è rappresentata dal polo negativo verso quello positivo, in quanto tale è la direzione del moto degli elettroni stessi.

Le linee di forza elettrostatica hanno due proprietà importanti: la prima, è la contrazione nel senso della lunghezza.

Una striscia di gomma, ad esempio, sottoposta a trazione, tende a contrarsi nel senso della lunghezza: in tal modo si compie un lavoro, convertendo un'energia potenziale in energia di moto (chiamata energia cinetica) ed anche in calore.

Analogamente, l'energia potenziale presente lungo la linea di forza elettrica può essere convertita in energia cinetica ed in calore, allorché la linea di forza stessa si contrae. Ciò significa che una carica stazionaria, come ad esempio un elettrone, può essere spostata.

In secondo luogo, le linee di forza che agiscono nella medesima direzione presentano la particolarità di respingersi reciprocamente.

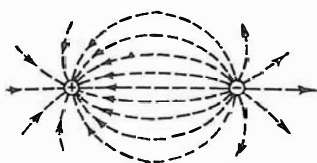


Fig. 2 H - Campo elettrostatico tra due corpi a caratteristiche contrarie (+ e —); la direzione delle linee di forza è indicata dall'effetto del campo sulle unità negative di carica.

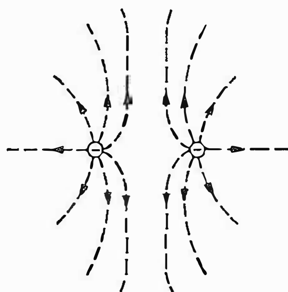


Fig. 3 H - Campo elettrostatico tra due corpi a caratteristiche eguali (— e —); è messo in evidenza l'effetto della repulsione laterale e l'appiattimento delle linee di forza adiacenti aventi la stessa direzione.

Di conseguenza, le linee presenti tra due cariche sono tutte curve verso l'esterno (figura 2 H) ad eccezione di quella che coincide con la linea retta che congiunge le cariche stesse, perché, data la repulsione eguale su entrambi i lati della linea assiale di forza, questa linea risulta dritta.

A distanza dall'asse, le linee di forza si curvano — come si è detto — verso l'esterno, perché la forza di repulsione proveniente dall'asse è maggiore di quella proveniente dalle linee esterne, e quindi le spinge all'infuori.

Campi elettrici tra cariche opposte...

Una delle leggi basilari della fisica è che — come ben sappiamo — le cariche opposte si attraggono e le cariche analoghe si respingono.

Consideriamo due piccoli corpi carichi di elettricità « opposta » (figura 2 H). Essi esercitano un'attrazione reciproca, e le linee di forza illustrate nella figura li collegano tra loro.

Qualsiasi linea di forza presente tra due cariche deve essere rappresentata in modo da collegarle direttamente: tuttavia, a causa delle limitazioni imposte dall'illustrazione, alcune linee sono rappresentate come incomplete.

Le cariche opposte di cui ci occupiamo possono essere a notevole distanza l'una dall'altra, senza peraltro alterare minimamente la condizione che le linee di forza, aventi inizio in una carica negativa, terminino in una carica positiva. Sebbene che, nel caso in cui la distanza tra le cariche sia grande, l'intensità della forza esercitata sia molto piccola, ciò non cambia per niente la situazione.

...e tra cariche analoghe

Consideriamo la rappresentazione di un campo elettrico esistente tra due corpi aventi cariche della « medesima » polarità (**figura 3 H**).

Le linee di forza ivi rappresentate sembrano non avere fine, e questo in quanto nella figura è possibile rappresentare solo una piccola parte dei campi. Ciò che vediamo è, in certo qual modo, soltanto quella sezione di due campi separati che si estende tra due cariche opposte (una delle quali è quella rappresentata col segno —, mentre l'altra rispettiva si trova in un punto qualsiasi dello spazio circostante).

La repulsione esistente tra cariche analoghe si traduce quindi in una curvatura delle linee di forza, le quali, non potendo incontrarsi, tendono a chiudersi in direzione di un altro punto, di polarità opposta.

Anche in questo caso l'energia potenziale può tradursi in energia cinetica, purché almeno uno dei corpi caricati sia libero di muoversi per effetto della repulsione. In mancanza di tale possibilità, l'energia resta sempre presente, ma solo allo stato potenziale.

Forze in campo tra elettrodi carichi

La **figura 4 H** illustra il caso di due elettrodi paralleli tra loro, caricati a polarità opposta e collocati ad una certa distanza.

Essi sono polarizzati mediante la batteria «B», la quale crea tra di essi una differenza di potenziale. I punti «a», «b» e «c» rappresentano tre diversi elettroni che si trovano in tale spazio.

Come è visibile dalla rappresentazione grafica, le linee che riempiono lo spazio interposto tra gli elettroni sono parallele, per l'azione repulsiva delle forze che si bilanciano, mentre quelle che si estendono al di fuori di tale spazio, sono curve verso l'esterno a causa dello sbilanciamento delle forze.

Essendo gli elettroni — per loro stessa natura — cariche negative, essi sono attratti dall'elettrodo positivo e respinti da quello negativo.

Un particolare di notevole importanza è che, nonostante la diversa distanza dai due elettrodi, gli elettroni subiscono la medesima forza di attrazione verso l'elettrodo positivo.

Ciò si verifica perché, mentre, ad esempio, quello centrale subisce una forza di attrazione

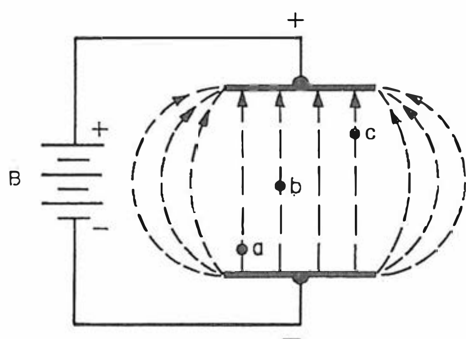


Fig. 4 H - Campo elettrostatico tra due piastre cariche. Si ha una uniformità di campo consistente in linee di forza parallele tra le piastre: il campo periferico è formato invece da linee curve. Nel campo, a, b, c, rappresentano tre elettroni.

da parte dell'elettrodo positivo — alla quale si somma quella di repulsione, di eguale entità, da parte dell'elettrodo negativo — gli altri elettroni, a seconda della posizione, subiscono una forza di attrazione ed una di repulsione di entità tale che, sommate (in quanto agiscono nel medesimo senso) danno per risultato una forza identica a quella che agisce sull'elettrone in posizione centrale.

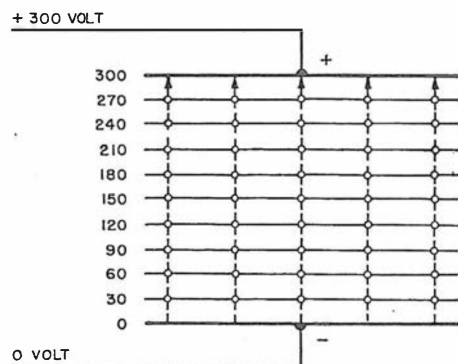


Fig. 5 H - Nel campo tra due piastre cariche si hanno punti a pari potenziale tra loro; unendoli idealmente nel piano si hanno liene equipotenziali.

Da ciò deriva che, data una certa differenza di potenziale, ossia un certo campo elettrostatico, l'energia cinetica che si manifesta nei confronti degli elettroni interposti, è costante qualunque sia la loro posizione.

Per specificare l'entità dell'energia acquistata dagli elettroni, si ricorre al termine **volt/elettrone.**

Se, ad esempio, si applica, tra due piastre parallele una d. d. p. pari a 1000 volt, e se il campo elettrico che ne deriva accelera un elettrone da una piastra all'altra, ossia tra 1000 volt, si dice che l'elettrone ha acquistato 1000 volt/elettrone di energia cinetica rispetto alla condizione di stasi in assenza del campo. Si può dire che la velocità di quell'elettrone ammonta, quindi, a 1000 volt.

Detta velocità può anche essere espressa in percentuale della velocità della luce, secondo la tabella che segue, che riporta le velocità approssimative per diverse tensioni di accelerazione.

Tensione di accelerazione in volt	Percentuale della velocità della luce
1.000	7
5.000	14
10.000	19
50.000	33
25.000	44

Punti e linee equipotenziali

La **figura 5 H** illustra il comportamento del potenziale nella estensione longitudinale di un campo elettrostatico.

I punti a pari potenziale sono uniti, nel disegno, e ne deriva l'aspetto illustrato in figura. Tra i due elettrodi è applicata una d. d. p. di 300 volt: se lo spazio interposto viene suddiviso teoricamente in dieci parti eguali, perpendicolari rispetto alla direzione delle linee di forza, anche la d. d. p. viene suddivisa in altrettante parti eguali.

Ne consegue che, qualsiasi punto sul piano, se si trova al centro della distanza, ha un potenziale di 0 oppure 300 volt, a seconda che si trovi, rispettivamente, a contatto dell'elettrodo negativo o di quello positivo.

Esso può, inoltre, assumere tutti i valori di potenziale intermedi, a seconda della distanza, ossia della sua posizione nei confronti dei due elettrodi. Le linee di pari potenziale, è da chiarire, non sono linee di forza elettrostatica, ma sono linee che incrociano ad angolo retto le linee di forza elettrostatica.

In considerazione di quanto sopra, gli elettroni, che tendono a muoversi in direzione parallela alle linee elettriche di forza, si muovono ad angolo retto rispetto ad una linea equipotenziale (ossia ad una delle linee trasversali riportate nel disegno, il cui potenziale è costante su tutta la lunghezza).

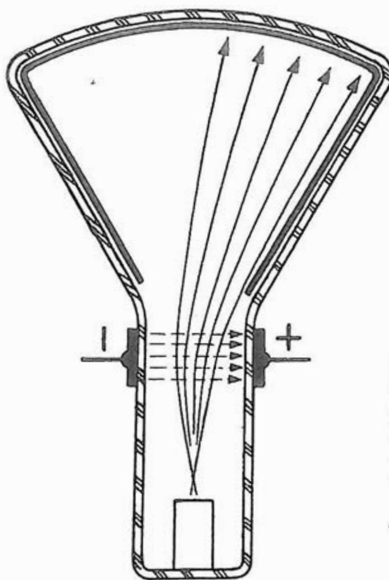


Fig. 6 H - Deviazione di un fascio di elettroni per effetto di un campo elettrostatico trasversale.
Le due piastre che creano il campo sono collocate, in realtà, all'interno del tubo. Un altro paio, ortogonale, crea un altro campo ortogonale a quello indicato.

La **figura 6 H** mostra come due piastre devïno, per effetto elettrostatico, il fascio di un tubo.

Movimento degli elettroni in un campo

In molti casi, nei tubi a raggi catodici, vengono impiegati anche campi non uniformi.

Un semplice sistema per ottenere un campo non uniforme è illustrato alla **figura 7 H**, e con-

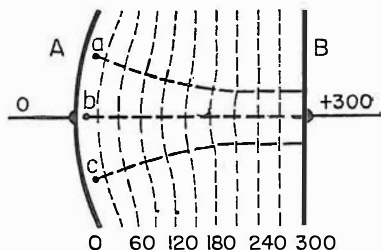


Fig. 7 H - Se le due piastre che creano il campo sono una curva ed una piana le linee equipotenziali si collocano come in figura. Gli elettroni (a, b, c) si muovono in senso perpendicolare alle linee e, come si vede, andando verso B, tendono a convergere.

siste nell'adottare un elettrodo a superficie piana ed uno a superficie curva. Come si nota, le linee tratteggiate rappresentano le linee equi-

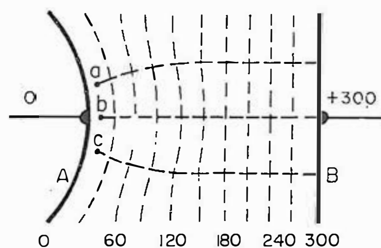


Fig. 8 H - Caso contrario a quello della figura 7. Gli elettroni, muovendo verso B, raggiungono tale piastra, più distanti tra loro di quanto non fossero in posizione di partenza.

potenziali, parallele in prossimità dell'elettrodo piano, e sempre più curve mano a mano che esse si avvicinano all'elettrodo curvo.

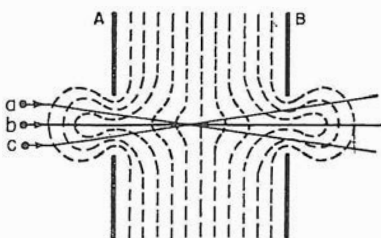


Fig. 9 H - Tra due dischi (A e B) aventi un'apertura al centro, le linee equipotenziali assumono l'aspetto illustrato, e gli elettroni, muovendo verso B, seguono il percorso indicato.

Gli elettroni «a» e «c», si spostano verso la piastra positiva «B» sempre in direzione perpendicolare alle linee equipotenziali, per cui, essendo queste ultime curve, anch'essi devono seguire una traiettoria curva (vedi figura). Gli elettroni tendono a convergere in prossimità dell'elettrodo piano.

L'elettrone «b», invece, non subisce alcuna deviazione nella direzione di moto, in quanto lungo il suo spostamento esso segue la linea retta in direzione perpendicolare alle linee equipotenziali.

La **figura 8 H** illustra un caso opposto, nel quale l'elettrodo negativo è curvo in senso contrario al precedente.

Anche in tal caso, come si nota, il movimento degli elettroni è sempre perpendicolare alle linee equipotenziali, per cui gli elettroni tendono a divergere man mano che si allontanano dall'elettrodo negativo, fino a riacquistare direzioni parallele in prossimità di quello positivo.

Una situazione ancora differente è illustrata alla **figura 9 H**, nella quale i due elettrodi sono due piastre, o dischi paralleli, recanti un foro centrale. Le linee equipotenziali tendono a seguire l'andamento raffigurato, in quanto il campo elettrostatico si estende al di fuori delle aperture. Il movimento degli elettroni è influenzato non solo nello spazio tra i dischi, ma anche al di fuori di tale spazio, in prossimità delle aperture.

Se tre elettroni, «a», «b» e «c», devono passare attraverso tali aperture entrando da «A» e diretti verso destra, accade che «a» e «c» siano costretti, in un primo momento, a convergere, in quanto attraversano linee equipotenziali convesse.

In corrispondenza della metà percorso tra le due piastre essi coincidono, per separarsi di nuovo divergendo, man mano che si avvicinano all'apertura dell'elettrodo «B».

L'elettrone «b», anche in questo caso, si muove lungo una linea retta poiché si trova sull'asse di simmetria ed avanza ad angolo retto rispetto a ciascuna linea equipotenziale.

Il fenomeno illustrato alla figura 9 H presenta notevole analogia col comportamento delle lenti nei confronti dei raggi di luce.

Come con due lenti è possibile concentrare, ossia mettere « a fuoco » un raggio luminoso, con due elettrodi polarizzati è del pari possibile mettere a fuoco un fascio di elettroni in movimento.

Una seconda versione di questa applicazione è rappresentata alla **figura 10 H**, nella quale i due elettrodi, raffigurati in sezione, sono costituiti da due cilindri internamente vuoti.

Se il cilindro più piccolo (A) è positivo rispetto ad un punto fisso di riferimento, mentre il più grande (B) ha un potenziale positivo maggiore, tra di essi si forma un campo elettrostatico.

Tutte le linee di forza attraggono nella medesima direzione, e, a causa della loro repul-

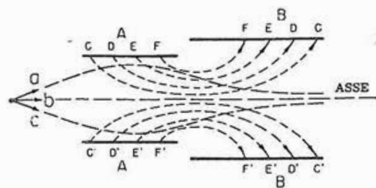


Fig. 10 H - Tra due cilindri gli elettroni si muovono influenzati dalla configurazione del campo che è indicato dalle frecce (il cilindro A ha potenziale più basso del cilindro B). Le lettere omonime indicano inizio e fine di ciascuna linea di forza.

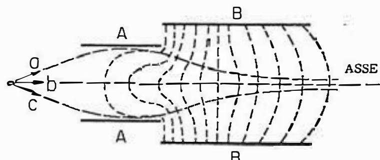


Fig. 11 H - Nel caso dei due cilindri cavi visto alla figura precedente, le linee equipotenziali si collocano come qui indicato.

sione laterale, tendono ad appiattirsi in corrispondenza dell'asse. Presso quest'ultimo esse sono perciò pressoché parallele.

Le linee equipotenziali risultanti assumono, nell'assieme, tre forme essenziali, come è illustrato alla **figura 11 H**, e precisamente: convessa entro il cilindro «A», piana in prossimità della zona in cui i bordi dei due cilindri coincidono, e concava nel cilindro «B».

Un certo numero di elettroni che parte da un punto raffigurato a sinistra della figura 11 H si apre a ventaglio a causa del potenziale positivo del cilindro «A», il quale attira gli elettroni e dà loro una certa accelerazione.

Non appena penetrati nello spazio delimitato dal cilindro, gli elettroni percepiscono una nuova forza in conseguenza del campo esistente tra «A» e «B», la quale forza tende a spostarli dalla superficie interna del primo verso quella del secondo.

Entrambi i campi esercitano la loro influenza sugli elettroni, ed il movimento che ne deriva è dato dal risultato della loro combinazione. La convergenza delle direzioni di ciascuno di essi è dovuta al fatto che — come è noto — essi attraversano perpendicolarmente le linee equipotenziali.

Gli elettroni che si spostano lungo l'asse dell'intero sistema soddisfano sempre tale esigenza, e, come già visto nei casi precedenti, la loro direzione non subisce alcuna modifica.

Il lettore avrà notato, a questo punto, che gli esempi illustrati nelle diverse figure si sono andati gradualmente avvicinando, nella forma e disposizione degli elettrodi presi in considerazione, a ciò che rappresenta la struttura di alcuni elettrodi del tubo a raggi catodici.

L'ultimo esempio osservato si identifica nel principio mediante il quale, nei tubi moderni, si ottiene la messa a fuoco di un raggio catodico al fine di concentrare un elevato numero di elettroni in un unico punto.

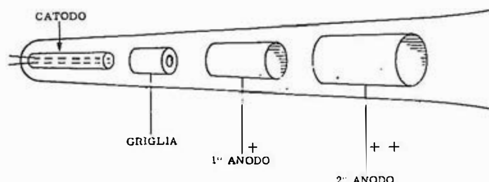


Fig. 12 H - La struttura del cannone elettronico comprende il catodo, che emette elettroni, una griglia (cilindro di Wehnelt) e due anodi con i quali (vedi figura 11 H) si focalizza e si accelera il fascio di elettroni.

Formazione del fascio

La costituzione del cannone elettronico di un tubo è essenzialmente quella visibile nella figura 12 H.

La sorgente di elettroni è il catodo, costituito da un sottile cilindro di nichel chiuso ad una estremità e ricoperto da uno strato di ossidi; internamente a questo elettrodo si trova il filamento, che mediante l'applicazione di una conveniente tensione di accensione porta il catodo ad una temperatura alla quale l'estrazione degli elettroni risulta enormemente facilitata.

Davanti al catodo, e coassiale con esso, si trova un elettrodo che regola l'intensità del fascio elettronico; esso è costituito da un cilindro metallico privo di una base (quella affacciata verso i terminali del tubo) ed avente una piccola apertura sull'altra.

Questo elettrodo, che dal nome del suo inventore ha preso inizialmente il nome di « cilindro di Wehnelt » ma che ora è più conosciuto come « griglia », per analogia con l'analogo elettrodo della valvola termoionica (che vedremo presto) viene mantenuto ad un potenziale continuo che è negativo rispetto a quello del catodo.

Variando l'entità di questa tensione negativa si controlla la quantità di elettroni che riescono a passare attraverso il foro del cilindro di Wehnelt perché attratti dall'anodo; la tensione negativa che provoca la completa estinzione del fascio è detta « tensione di interdizione del tubo ».

Essa è un elemento importante, per cui viene sempre elencata fra le caratteristiche principali di ogni tubo che ogni Ditta costruttrice pubblica sui propri manuali.

La necessità di dotare il tubo a raggi catodici di un anodo focalizzatore è direttamente conseguente al fatto che gli elettroni emessi dal catodo sono altrettante cariche elettriche aventi tutte la stessa polarità.

Per questo motivo esse si respingono a vicenda, ed il fascio tende ad aprirsi il più possibile dando luogo sullo schermo alla formazione di un punto luminoso di superficie piuttosto elevata.

La concentrazione del fascio si può ottenere essenzialmente mediante l'azione di un campo acceleratore: infatti è intuitivo che se gli elettroni hanno una velocità maggiore si trovano ad essere vicini per un tempo minore, e quindi hanno a disposizione minor tempo per disperdersi prima di raggiungere lo schermo.

È chiaro, dunque, che per ottenere sullo schermo un punto molto piccolo è necessario che l'anodo abbia un potenziale quanto più alto è possibile. Esistono però dei fattori economici che pongono una limitazione al massimo valore

ammissibile per questa tensione; pertanto lo scopo finale si raggiunge interponendo degli elettrodi fra l'anodo e la griglia in modo da ottenere un fascio elettronico sufficientemente sottile con una tensione anodica di valore non molto alto.

Nelle figure 10 e 11 H abbiamo visto come sono costituiti e come funzionano questi elettrodi.

La tensione applicata al cilindro A (primo anodo, o anche anodo focalizzatore) è positiva rispetto al catodo, ed è pari a circa un terzo della tensione applicata all'anodo B (secondo anodo, o anche anodo acceleratore).

Il campo elettrico illustrato nelle ultime figure citate è dovuto appunto alla differenza di potenziale esistente fra gli elettrodi A e B.

Il nome di anodo focalizzatore dato al cilindro A deriva dal fatto che le modificazioni del valore della tensione applicata a questo elettrodo dànno luogo ad una corrispondente diversa concentrazione di elettroni sullo schermo del tubo.

Fosfori e schermi del tubo a raggi catodici

Cenni generali orientativi

La materializzazione del fascio sotto forma di un punto luminoso che appare sulla faccia anteriore del tubo (schermo oscillografico) è, come abbiamo già accennato, dovuta alla **luminescenza** di determinate sostanze chimiche in conseguenza di un bombardamento elettronico: la luce viene prodotta per conversione in energia luminosa di una parte dell'energia cinetica posseduta dagli elettroni del fascio nel momento dell'urto con lo schermo oscillografico.

La luminescenza è il fenomeno che si produce dall'impatto di elettroni con una superficie costituita da determinati materiali.

La reazione di tali materiali si distingue in: **fluorescenza** che è quella che si produce al momento in cui il raggio di elettroni colpisce i materiali e che dura per tutto il tempo in cui si produce l'impatto: **fosforescenza** che è quella che persiste per un determinato tempo dopo che l'impatto è avvenuto.

La luminosità del punto che appare sullo schermo dipende dalla sostanza luminescente impiegata (**figure 13** e **14 H**), dalla potenza del fascio elettronico (potenza che è proporzionale all'intensità della corrente del fascio stesso ed al cubo della tensione dell'anodo acceleratore) e dalla velocità con cui gli elettroni giungono sullo schermo (la quale dipende anch'essa in misura preponderante dalla tensione anodica).

Un limite massimo alla luminosità del punto oscillografico è conseguente al fatto che se la corrente del fascio eccede un certo valore si verifica il fenomeno della « macchia nera », la quale consiste in una sorta di distruzione della zona di schermo interessata al fenomeno, e quindi in una impossibilità permanente di quella zona ad emettere ulteriormente energia luminosa.

Poiché, ovviamente, il pericolo di distruzione è tanto maggiore quanto minore è l'area della zona bombardata (come nel caso di un punto o di una sottile striscia), si capisce agevolmente come sia buona norma mantenere sempre il raggio in movimento per mezzo dei circuiti in-



Lo schermo dei tubi a raggi catodici, in conseguenza delle sostanze su di esso depositate (all'interno) appare bianco o biancastro; allorché il fascio lo colpisce, si illumina su una minuscola area. È bene che questo punto luminoso (« spot ») sia sempre in movimento perché se viene mantenuto a lungo immobile può verificarsi la distruzione, localizzata, del deposito attivo.

terni dell'oscilloscopio anche quando al circuito d'entrata non è applicato alcun segnale.

Esistono degli schermi — chiamati « schermi a cascata » — i quali sono prodotti con due strati di sostanze luminescenti diverse. Qualora occorra uno schermo che presenti delle buone caratteristiche di fluorescenza con analoghe buone qualità di fosforescenza residua, si possono utilizzare questi tipi di schermi.

Quando un raggio elettronico colpisce la superficie dello schermo, uno dei due strati reagisce producendo la fluorescenza richiesta; quest'ultima provoca a sua volta la reazione nel secondo strato il quale produrrà una luce visibile per il periodo di tempo desiderato e dipendente dalle sue caratteristiche chimiche.

Circa le sostanze adatte per ottenere questi risultati, diremo che vengono abitualmente utilizzati dei silicati di zinco nel caso di tubi adatti per oscillografi, mentre i solfuri di zinco sono più impiegati per tubi destinati alla televisione.

Il responso spettrale è uno dei parametri più importanti che caratterizzano il funzionamento di un tubo a raggi catodici.

La misura del responso spettrale si effettua con uno spettrometro, e se ne ricavano diagrammi nei quali si avrà in ascissa la lunghezza d'onda in Angström e in ordinata la resa percentuale di luminosità (posta eguale al 100% la lunghezza d'onda alla quale si ha il massimo potere emissivo).

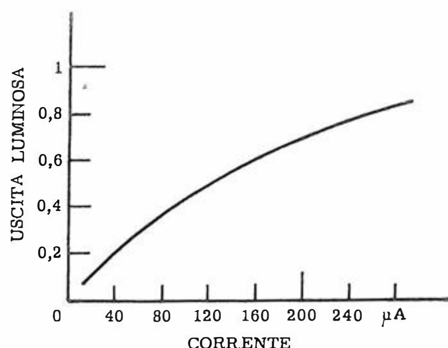


Fig. 13 H - Questa curva indica l'andamento della luminescenza in funzione della corrente elettronica del fascio su di un deposito di fosforo contenente solfuro di zinco (tubi per TV).

Il colore della luce emessa dallo schermo dipende dalla natura delle sostanze chimiche impiegate per la sua formazione; in particolare da quelle impurità aggiuntive (« attivatori ») che vengono in esse introdotte allo scopo di renderle più sensibili.

Ad esempio, un fosforo di uso comune è dato dal solfuro di zinco. Quando questa sostanza viene attivata con argento, essa produce una luce blu; se attivata con rame, il colore risulta blu verdastro; mentre se attivata con manganese, il colore risulta arancione.

Ecco dunque che variando la qualità di attivatore, è possibile modificare il colore della luce.

Una ulteriore caratteristica dello schermo è la « persistenza » della traccia, cioè la durata dell'intervallo esistente fra l'istante in cui cessa l'esistenza del raggio catodico e l'istante in cui il punto dello schermo bombardato cessa di emettere luce.

A questo proposito, è opportuno dire che esistono tipi di schermi a « breve », a « media » ed a « lunga persistenza ».

La prima si riferisce ad una durata della luce — una volta cessata l'esistenza del raggio catodico — compresa tra alcuni microsecondi e 1 millisecondo.

La seconda si riferisce ad una durata compresa tra 1 millisecondo ed un massimo di 2 secondi.

La terza eccede naturalmente tale valore.

Esistono due tipi di segnali incontrati nelle misure oscillografiche: segnali ricorrenti e transienti.

Per la riproduzione del primo tipo di segnali si ricorrerà all'uso di fosfori a breve e media persistenza, in quanto la costante ripetizione dell'immagine su un medesimo luogo di punti dello schermo consente, grazie alla persistenza dell'immagine sulla retina, di osservare una immagine fissa.

Viceversa se il segnale da esaminare è di tipo transitorio, occorrerà fermare l'immagine grazie alla persistenza della traccia, persistenza garantita appunto da un fosforo a lunga persistenza.

Questa persistenza dell'immagine è richiesta in particolare nei tubi a raggi catodici a più tracce perché in tal caso è necessario confrontare tra di loro diversi segnali con accuratezza, richiedendosi per questo un po' di tempo.

È interessante notare che il pericolo di distruzione della sostanza fluorescente è maggiore con bassi che non con alti valori della tensione anodica. Infatti si è constatato praticamente che la produzione di schermi a lunga vita con tensioni anodiche di 500 V presenta difficoltà molto maggiori che non quella di schermi destinati a funzionare con anodi ai quali vengono applicati alcuni chilovolt.

I fosfori per lo schermo

I materiali fotoemittenti usati nei tubi a raggi catodici sono sostanze solide a struttura cristallina, depositate sulla superficie interna dello schermo.

Questi materiali, detti **fosfori**, emettono luce se colpiti da particelle elettricamente cariche (oppure da energia raggiante = fotoni).

Per meglio comprendere le caratteristiche dei diversi materiali usati come fosfori diremo sommariamente del processo che in essi si svolge e fa loro emettere luce sotto lo stimolo di un corpuscolo o di una radiazione.

Sappiamo che ogni atomo di materia è costituito da un nucleo e da un certo numero di elettroni i quali fissano, con la loro quantità, il numero atomico dell'elemento in questione.

I diversi elettroni occupano vari livelli di energia rispetto al nucleo interno; a seconda della distribuzione di tali livelli, risultano determinate le caratteristiche fisiche e chimiche dell'atomo.

Quando, ad esempio, due o più atomi sono tra di loro uniti chimicamente, i diversi elettroni di ogni atomo sono confinati entro dati livelli o bande di energia costanti nel tempo se il composto chimico è stabile.

Nel caso dei fosfori, gli elettroni che sono a livello energetico in equilibrio vengono sospinti — per effetto dell'urto con elettroni carichi — a livelli energetici conduttivi, normalmente privi di elettroni ma capaci di assorbirne.

Quando tali elettroni tornano al loro livello di equilibrio iniziale, restituiscono l'energia immagazzinata sotto forma di luce.

Si conoscono molti composti chimici aventi le proprietà emissive dei fosfori, ma pervenire con tali sostanze alla forma cristallina pura com-

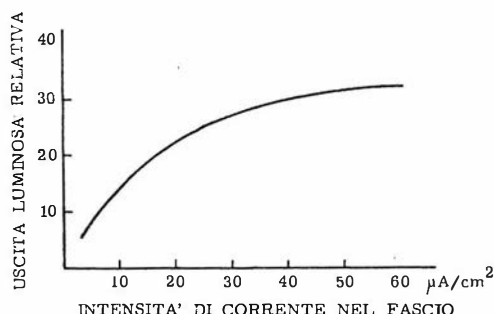


Fig. 14 H - Curva dell'andamento della luminescenza in funzione della corrente elettronica del fascio per un deposito di ortosilicato di zinco (tubi per oscillografia).

porta grande difficoltà tecnologica e quindi un costo di produzione non indifferente.

Quando i cristalli sono in forma di « precipitati chimici », nella struttura reticolare cristallina risultano intimamente incorporate delle impurità. Tuttavia, queste impurità sono desiderabili in un cristallo per fosfori perché hanno la caratteristica di catturare le « cavità » o « lacune » (causate dalla accennata migrazione degli elettroni di equilibrio all'interno della massa cristallina) tramite la espulsione di propri elettroni capaci di saturare con la loro presenza, dette « lacune ».

Questa azione di cattura determina la variazione di comportamento luminoso da parte di un fosforo assoggettato ad un bombardamento di energia raggiante.

Alcuni elettroni tornano infatti sui loro livelli energetici di riposo pochi istanti dopo la loro primitiva eccitazione da parte della radiazione incidente, altri elettroni invece vi ritornano dopo qualche tempo in quanto le lacune da essi lasciate nel cristallo sono state temporaneamente occupate da elettroni appartenenti alle impurità aggiunte.

L'aggiunta deliberata di materiali impuri, detti attivatori, è suscettibile di modificare il comportamento del cristallo nei riguardi del colore della luce emessa (frequenza) nonché della durata dell'azione di cattura.

L'energia usata per i fosfori può essere fornita da una qualsiasi forma di radiazione: fotoni, elettroni, ioni, od emissione termica. Quando il fosforo viene immesso in uno di questi flussi di energia, ne assorbe parte per rimetterla sotto altra forma.

Poiché il cannone elettronico di un tubo a raggi catodici fornisce un pennello di elettroni ad alta energia, di natura ben definita e controllabile con precisione, è chiaro che i fosfori da usarsi per la fabbricazione degli schermi debbano essere chimicamente e fisicamente studiati allo scopo di funzionare efficacemente con tale forma di energia.

Tali tipi di fosforo, facilmente riproducibili industrialmente, hanno ricevuto una classificazione numerica negli USA (norme JEDEC): classificazione che si è estesa per tacito accordo a tutto il mondo. Il numero di classificazione di un fosforo chiarisce completamente il comportamento spettrale e gli altri parametri fisici del medesimo (vedi Tabella a pagina 14 h).

Ognuno dei diversi fosfori così designati è stato ottenuto in modo da funzionare con una fonte di energia stimolante costituita da elettroni, nondimeno essi possono venire eccitati da altri tipi di radiazioni, ed anche danneggiati da esse.

Il principale pericolo per la durata dei fosfori impiegati nei tubi a raggi catodici è rappresentato dal calore, spesso presente nelle apparecchiature oscillografiche. Tale calore può alterare apprezzabilmente il comportamento spettrale del fosforo oppure l'effetto di durata della emissione luminosa dopo la cessazione dell'impulso eccitante.

Terminologia e caratteristiche

Spesso, parlando di caratteristiche dei fosfori per tubi a raggi catodici, vi è confusione perché alcuni termini cui si fà cenno nei fogli di informazione che accompagnano il componente vengono erroneamente interpretati. Riteniamo dunque opportuno precisare meglio dopo quanto abbiamo già detto in proposito, che cosa si intenda per ognuno di essi.

Luminescenza — È la proprietà che ha un corpo di emettere luce pur rimanendo a temperatura molto bassa.

Riferendo tale termine al comportamento di un fosforo per tubo a raggi catodici, è naturale limitarne il significato intendendolo come l'emissione di luce visibile per effetto delle reazioni fisiche elettroniche cui abbiamo precedentemente accennato.

Pur nella limitazione di tale definizione, il termine ha un significato fisico ancora indeterminato: infatti l'emissione di luce può avvenire sia contemporaneamente alla eccitazione del fosforo, sia in istanti successivi.

Pertanto, si usa ricorrere, lo abbiamo già detto, a due termini supplementari per distinguere l'emissione di luce, cioè: « fluorescenza », che indica l'emissione di luce contemporaneamente allo stimolo e « fosforescenza », che indica l'emissione di luce in istanti successivi alla cessazione dello stimolo.

Queste due ultime definizioni valgono unicamente a fini pratici in quanto, fisicamente, il loro significato è un po' diverso ed assai più ampio.

I termini accennati presuppongono inoltre che la luce emessa cada nell'interno dello spettro visibile.

Si tenga presente che in molti oscilloscopi professionali si fa uso di rivelatori di traccia oggettivi anziché soggettivi (ad esempio lastre fotografiche in luogo dell'occhio umano).

Tali rivelatori oggettivi possono avere comportamento spettrale assai differente da quello dell'occhio umano, per cui parlando di fosforescenza e fluorescenza dei fosfori sarà bene specificarne i relativi valori quando si lavori in zone spettrali al di fuori del visibile.

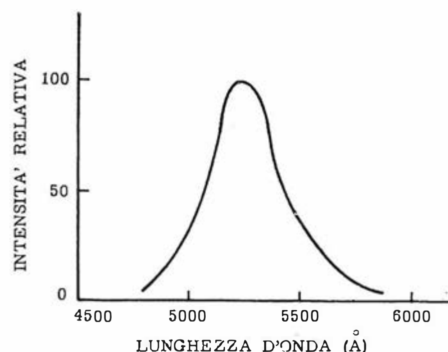


Fig. 15 H - Distribuzione dell'energia spettrale su di uno schermo verde (5250 Angström = massimo), a media persistenza.

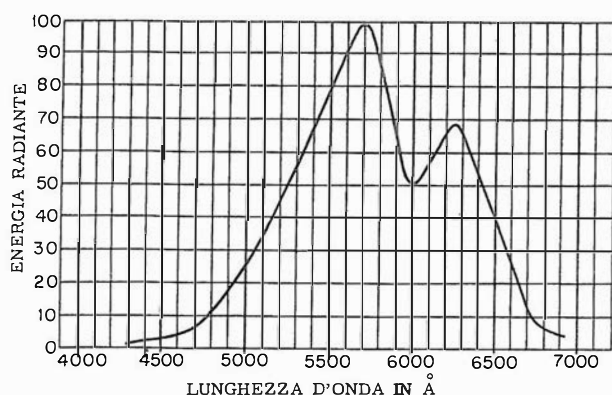


Fig. 16 H - Curva di distribuzione dell'energia spettrale su di uno schermo con due differenti tipi di fosforo; presenta due picchi di energia radiante in corrispondenza di due lunghezze d'onda distinte.

Responso spettrale — Con questo termine si definisce uno dei parametri più importanti che caratterizzano il funzionamento dello schermo di un tubo a raggi catodici. Esso indica qual'è il colore predominante nella radiazione luminosa emessa durante la fase di fluorescenza e di fosforescenza.

La misura del responso spettrale viene in generale eseguita con un spettrometro la cui cellula è posta dinnanzi allo schermo del tubo a raggi catodici sul lato opposto a quello su cui viene effettuato il bombardamento elettronico.

La maggior parte delle caratteristiche spettrali vengono tracciate (**figure 15 H** e **16 H**) ponendo in ascissa la lunghezza d'onda in Angström ed in ordinata la resa percentuale di luminosità come già detto.

Si noti come gli spettrogrammi riportati per i diversi tipi di fosfori rappresentino le caratteristiche medie del tipo di fosforo citato. Sarà sempre possibile riscontrare leggere differenze di risposta tra diversi fosfori di uno stesso tipo: ciò per evidenti difficoltà di preparazione dei materiali.

In genere il colore della luce emessa da un fosforo durante la fase di fluorescenza e di fosforescenza è il medesimo. Vi sono delle eccezioni: in tali casi il fosforo presenterà due picchi di risposta spettrale, l'uno in corrispondenza della fase di fluorescenza ed il secondo della fase di fosforescenza.

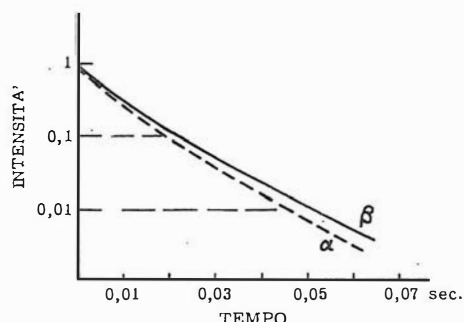


Fig. 17 H - Andamento della persistenza (tempo impiegato per passare dal massimo ad un livello non più percepibile) per due ortosilicati di zinco α e β.

Persistenza — È l'intervallo di tempo che impiega la luce emessa da un fosforo per passare dall'intensità massima (raggiunta durante la fase di fluorescenza) ad un livello non più percettibile (**figura 17 H**).

Tale dato costituisce il secondo importantissimo parametro che contraddistingue le prestazioni di un fosforo. È infatti grazie alla persistenza che possono essere registrati spostamenti anche velocissimi del pennello elettronico.

Ripetiamo che sono a breve persistenza quelli in cui il periodo utile di fosforescenza va da pochi microsecondi ad un millisecondo; a media persistenza quelli in cui detto periodo è compreso tra 1 millisecondo e 2 secondi, ed infine, a lunga persistenza quelli che consentono la registrazione della traccia per parecchi secondi.

Vi sono poi alcuni specialissimi schermi, usati in tubi a raggi catodici per calcolatori elettronici (esposizione visiva dei dati) la cui persistenza raggiunge anche più giorni.

Tempo di accumulo — Questo termine si applica a quei fosfori i quali necessitano di più impulsi di eccitazione prima di poter raggiungere la massima resa in fatto di emissione luminosa.

Ciò perché, l'energia dovuta ai primi impulsi viene rapidamente assorbita dalle impurità attivanti contenute nel reticolo cristallino del materiale e solo successivamente, quando tali impurità hanno raggiunto uno stato di equilibrio, altri impulsi possono conferire la loro energia agli elettroni suscettibili di produrre emissione di luce.

Questo comportamento particolare di taluni fosfori è transitorio: esso dipende dalla intensità dell'eccitazione, dalla durata dell'impulso e dalla cadenza degli stessi.

In genere, i fosfori a lunga persistenza hanno un tempo d'accumulo molto breve e viceversa.

Alone — È un fenomeno dovuto a diffusione della luce.

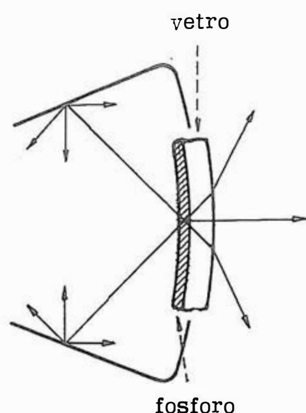
Il fosforo cristallino si trova a contatto con la parete di vetro costituente l'involucro del tubo; i raggi emessi dai cristalli attraversano lo strato di vetro, fino a raggiungere la superficie opposta del medesimo.

Se l'incidenza dei raggi raggiunge un certo valore critico, si hanno riflessioni luminose multiple all'interno della massa di vetro, le quali si allontanano via via dal punto sorgente di luce dando un senso illusorio di chiazza luminosa diffusa. Il fenomeno si traduce in pratica nella formazione di un anello intensamente luminoso intorno alla macchia circolare del pennello elettronico.

L'effetto è tanto più marcato se il pennello è fermo in una posizione dello schermo. Viceversa, se il pennello si sposta potrà notarsi, a lato del punto, una specie di banda luminosa che lo accompagna.

La riduzione dell'alone può essere ottenuta in sede di costruzione del tubo adottando particolari accorgimenti durante l'applicazione del fosforo.

Notevole importanza hanno pure per questo effetto la grandezza dei cristalli e le condizioni di funzionamento del tubo (immagini a basso contrasto).



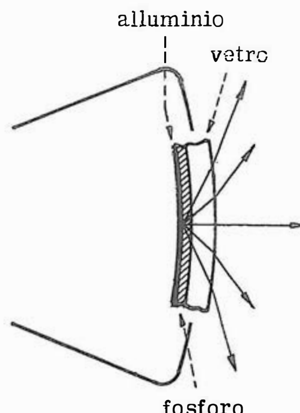


Fig. 18 H - La luce generantesi in conseguenza dell'impatto del fascio elettronico sul deposito di fosforo, viene riflessa in buona parte verso l'interno del tubo (A) ed è per questo fatto non utilizzabile nella visione frontale. Se però si deposita sopra al fosforo un sottilissimo strato di alluminio, la luce riflessa, incontrandolo inverte direzione e viene anch'essa avviata (B) verso il fronte di osservazione del tubo.

Potere d'arresto e tensione di incrocio — Questi termini si riferiscono a caratteristiche proprie dei tubi a raggi catodici di tipo alluminizzato.

Una parte dell'energia fornita dal pennello elettronico viene infatti consumata per fare attraversare agli elettroni uno strato di metallizzazione sulla parte posteriore dello schermo. Tale metallizzazione viene utilizzata per migliorare la resa luminosa del fosforo (sfruttamento della luce inviata a ritroso verso il catodo mediante una inversione speculare del raggio luminoso). **Figura 18 H.**

Il potere di arresto indica l'entità dell'energia dissipata dal fascio elettronico per far giungere gli elettroni sullo strato di fosforo racchiuso come in un « sandwich » tra pellicola di alluminio e vetro (**figura 19 H**).

Ad un certo punto, aumentando l'energia conferita al fascio elettronico, questo produrrà una emissione di luce via via crescente la quale, una volta che il potenziale ha superato quel valore detto « tensione di incrocio », risulterà, a parità di condizioni di funzionamento, più intensa appunto per il meccanismo di alluminizzazione.

A partire da questo valore di tensione (vedi **figura 20 H**), la luce fornita dallo schermo metallizzato sarà sempre superiore a quella di uno schermo di tipo comune.

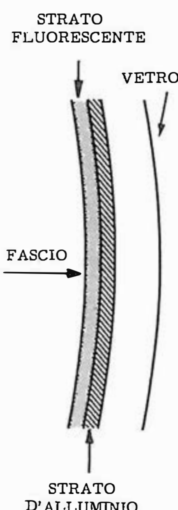


Fig. 19 H - Patricolare (in sezione) della struttura di uno schermo alluminizzato. Lo strato metallico consente il passaggio degli elettroni ed il suo effetto speculare sopracitato aumenta la brillanza ed il contrasto apparente.

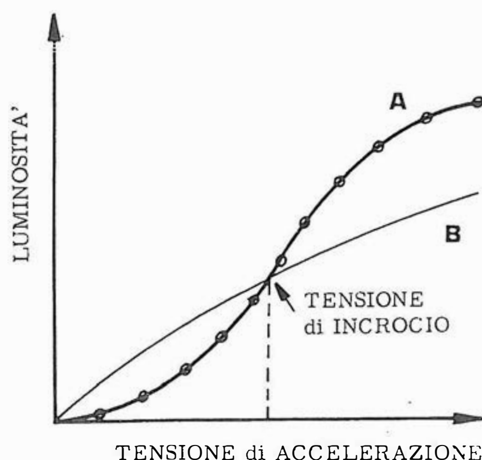


Fig. 20 H - Grafico illustrante l'andamento della luminosità in funzione del potenziale di accelerazione, per uno schermo metallizzato (A) e non metallizzato (B). Si può notare il vantaggio della metallizzazione a partire da un certo potenziale (tensione di incrocio).

Saturazione — La saturazione dello schermo può essere prodotta dal valore eccessivo di uno dei seguenti fattori: potenziale di accelerazione anodico del tubo e densità di corrente di schermo.

Se il potenziale di accelerazione di schermo è sufficientemente elevato sì da lanciare gli elettroni addentro lo strato di fosforo, l'effetto luminoso ottenuto è solo leggermente superiore perché gli elettroni in soprannumero non contribuiscono alla produzione di nuova luce: si dice allora che lo schermo è saturato in tensione.

D'altro canto, è anche possibile aumentare la densità di corrente di schermo fino al limite massimo di ricettività del fosforo. In tal caso, per quella data densità di corrente si dice che lo schermo è saturato in corrente.

Si noti che, in quest'ultimo caso, l'elevato numero di collisioni elettroniche contro la struttura cristallina del fosforo ne innalza la temperatura a valori suscettibili di produrre danni permanenti al fosforo attraverso modificazioni chimico-fisiche della struttura.

Incidente tipico prodotto da una eccessiva densità di corrente è la « bruciatura » del fosforo.

Tipi di schermi

Lo schermo di un tubo è in genere costituito da uno strato di fosforo uniformemente ed omogeneamente applicato alla superficie interna della parete frontale di vetro del tubo.

Tale tipo di schermo viene definito « schermo a semplice strato ».

Esso viene eccitato, come sappiamo, tramite il pennello elettronico emesso dal catodo e focalizzato dal cannone elettronico.

Nello studio dei materiali utilizzabili come fosfori per gli schermi nei tubi a raggi catodici, si è scoperto che talune sostanze presentano eccellenti caratteristiche in quanto a colore e persistenza della luce emessa, ma risultano poco efficienti dal punto di vista della quantità di luce emessa se eccitate da un normale fascio di elettroni.

Si è anche constatato che tali sostanze migliorano notevolmente in efficienza se eccitate con radiazione ultravioletta la quale però non è utilizzabile nel caso della oscillografia abituale.

Si poté quindi pensare di utilizzare uno strato di fosforo caratterizzato da una elevata emissione ultravioletta, la quale ecciti a sua volta un secondo strato di fosforo dalle caratteristiche di colore e persistenza desiderate.

Un tentativo fatto di adottare una miscela di due fosfori diede cattivi risultati, a motivo delle emissioni simultanee di due luci di diverso colore e della mancanza di una eccitazione uniforme. Venne perciò realizzato un secondo tipo di schermo, detto a doppio strato (vedi **figura 21 H**).

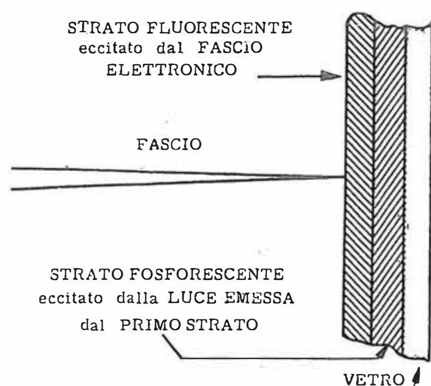


Fig. 21 H - Schermo in « cascata » o a doppio strato di fosfori (visto in sezione). Con una scelta opportuna dei due tipi di fosforo si ottiene un aumento della persistenza, del rendimento o varianti del colore, a seconda delle esigenze.

In esso, lo strato di fosforo emittente nello ultravioletto si trova nella parte più interna del tubo, cioè soggetto ad eccitazione da parte del pennello elettronico. Lo strato di fosforo emittente luce visibile forma invece uno strato « sandwich » tra il primo fosforo e lo schermo di vetro.

Un altro tipo di schermo per tubi a raggi catodici è quello tricromico, costituito da triadi puntiformi o da 3 strisce di fosfori depositate sullo schermo in modo tale da poter essere eccitate individualmente da un unico pennello elettronico o da tre pennelli distinti. Ognuno dei tre fosfori dà luogo alla formazione di un colore primario (Rosso, Verde, Blu).

I tubi tricromici vengono usati nella televisione a colori, ma possono trovare applicazione nel radar ed in oscillografia quando necessiti la presentazione a due o tre colori di segnali separati ma in relazione tra di loro.

Deposizione dei fosfori

La tecnica di applicazione dei materiali fotoemittenti sulla superficie interna dello schermo di vetro dei tubi, ha condotto all'ottenimento di due tipi di strati emittenti: il primo riguarda la famiglia di « fosfori depositati per evaporazione ».

Con questo procedimento si raggiunge un alto grado di uniformità nella deposizione degli strati i quali, per la loro sottigliezza, permettono una buona definizione dell'immagine. Per la loro trasparenza, questi strati evaporati richiedono un rivestimento posteriore costituito da uno strato di materiale di annerimento, il quale migliora il contrasto dell'immagine in condizione di forte luminosità ambientale.

Tale strato, elettricamente conduttore, facilita la dispersione di scariche elettrostatiche presenti sullo schermo, che potrebbero compromettere la resa luminosa del fosforo in taluni punti dello schermo.

Il secondo sistema di deposizione dello strato emittente prevede l'impiego di un fosforo a struttura cristallina estremamente piccola e tale da consentire di risolvere con nitidezza punti luminosi anche piccolissimi (diametro 2,5 micron).

È con tali strati che, in tubi a deflessione magnetica, e focalizzazione magnetica ed elettrostatica, si raggiungono le immagini meglio contrastate e dettagliate. Fosfori appartenenti a questa seconda categoria sono ad esempio i P 1, P 11, P 16 (classificazione numerica JEDEC).

Rendimento luminoso

Caratteristica molto importante di uno schermo per tubo è il valore della quantità di luce che esso può fornire in determinate condizioni di impiego.

È quindi necessario che l'energia del pennello elettronico sia tale da non provocare la penetrazione di elettroni nello strato di fosforo perché ciò condurrebbe ad una diminuzione nettamente avvertibile della resa.

È del pari necessario che lo spessore dello strato non sia rilevante onde non produrre una eccessiva attenuazione luminosa dei raggi che lo attraversano: infatti la massima luminosità dell'immagine corrisponde al lato del fosforo su cui avviene il bombardamento elettronico, cioè alla parte interna dello schermo.

Onde sfruttare completamente anche la parte di luce che viene emessa verso l'interno del tubo, si ricorre, come si è visto, alla metallizzazione dello strato di fosforo, che produce una inversione speculare, in direzione dell'osservatore, di quei raggi che altrimenti andrebbero dispersi.

Un caso particolare

Il materiale fotoemittente designato come fosforo P 10, non corrisponde nella realtà ad un fosforo, ma indica piuttosto un materiale denominato « scotophor » (supporto oscuro), il quale differisce chimicamente e fisicamente da un fosforo per il fatto che la esposizione di quest'ultimo ad energia raggiante non dà luogo alla emissione di alcuna radiazione luminosa, ma piuttosto varia le caratteristiche di assorbimento del materiale quando questo viene colpito da luce incidente.

La traccia appare in tal caso di un color magenta. Questo fenomeno è detto « tenebrescenza », in opposizione alla luminescenza, appunto perché il materiale assume una colorazione scura come di vernice rossa.

Vantaggio di un tal tipo di fosforo è la persistenza assai lunga, nondimeno esso richiede un alto livello di energia eccitante e presenta qualche difficoltà nell'osservazione dell'immagine riprodotta.

La lettura dello schermo

Per sfruttare completamente le possibilità del fosforo è necessario prevedere l'uso di un mezzo di traduzione che si accoppi perfettamente al fosforo stesso in quanto a caratteristiche spettrali. Nelle applicazioni più comuni, i mezzi di rivelazione usati sono tre: visiva, fotometrica e fotografica.

Metodo visivo

Sebbene l'occhio umano costituisca uno tra i più perfezionati rivelatori di luce, per adattabilità e sensibilità spettrale, nondimeno esso comporta un certo numero di differenze fisiologiche e psicologiche da osservatore ad osservatore.

In particolare, può accadere che la sensibilità ai colori sia diversa da individuo a individuo, ed anche che lo stesso osservatore reagisca differentemente in momenti diversi, allo stesso stimolo. Per questa ragione, sono stati effettuati studi di carattere statistico per stabilire il comportamento dell'occhio medio.

Una delle maggiori differenze che contraddistingue l'individuo « medio » come osservatore è il grado di adattabilità alle diverse intensità di illuminazione della retina.

A questo riguardo viene definita visione « fotopica » quella che si ha in condizione di luce diurna; si ha visione « scotopica » quando l'occhio è abituato all'oscurità.

La sensibilità spettrale dell'occhio in queste due condizioni opposte di illuminazione è assai diversa.

A noi però interessa qui considerare la condizione di visione (cioè la sensibilità spettrale dell'occhio) in condizioni di illuminazione della retina compresa entro le due sensibilità opposte citate. Ciò è appunto il caso dell'osservazione delle immagini oscillografiche.

In **figura 22 H** sono riportate, la curva di risposta spettrale dell'occhio fotopico e quella dell'occhio scotopico.

L'occhio « fotopico » è quello che ha la migliore capacità di valutazione dei colori e delle differenze di livello luminoso, in quanto possiede la migliore acuità visiva ed è molto sensibile allo scintillamento.

Come si vede dalla figura 22 H, l'occhio « fotopico medio » (diurno) presenta un massimo di sensibilità per le lunghezze d'onda giallo-arancio, mentre l'occhio « scotopico medio » (notturno) è più sensibile al blu-verde.

Sebbene l'occhio abituato al buio non sia in grado di apprezzare piccole variazioni dell'intensità luminosa nella stessa misura di quello abituato alla luce diurna, esso può avvertire la presenza di una luce di intensità assai inferiore.

A 5.100 A° — punto di massima sensibilità per l'occhio al buio — si richiede solo un decimo dell'energia luminosa necessaria a produrre una eguale sensazione di luminosità a 5.600 A°, che è punto di massima sensibilità per l'occhio diurno.

L'occhio abituato al buio risulta quindi praticamente insensibile ai colori e può avvertire solamente la presenza della luce.

L'occhio fotopico e quello scotopico si differenziano anche per il tempo di adattamento richiesto.

Il primo raggiunge un completo adattamento alla luce in pochi minuti, mentre può richiedere anche dieci ore per adattarsi al buio.

L'abilità dell'occhio nel rilevare piccole variazioni di intensità luminosa tra due immagini, dipende dal livello luminoso, dalle dimensioni dell'oggetto e dalla distanza mutua tra le due immagini.

Le differenze esistenti tra queste variabili

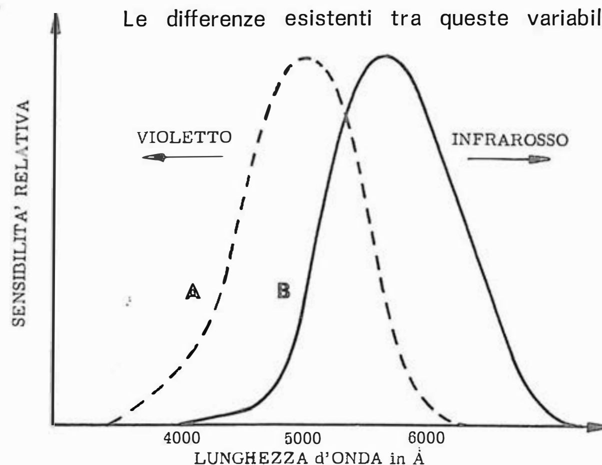


Fig. 22 H - Curve relative all'andamento della risposta spettrale media dell'occhio umano abituatosi all'oscurità (A) e dell'occhio abituato alla luce (B). Nel primo caso si nota una sensibilità maggiore per il blu-verde, sensibilità che si trasferisce al giallo-arancione col passaggio alla seconda situazione.

prendono il nome di **contrasto**. Se le due immagini sono tra di loro separate, il contrasto viene detto « spaziale ». Se infine le due immagini si toccano solo per un lembo, il contrasto viene detto di « dettaglio ».

I fattori che determinano la sensibilità dell'occhio al contrasto, nel caso di immagini oscillografiche, sono: (1) il livello di adattamento dell'occhio (determinato sia dalla luminosità dell'immagine oscillografica che dalle condizioni di luce ambiente); (2) l'alone, il quale è costituito da riflessioni ottiche all'interno del vetro costituente lo schermo; (3) la distanza tra osservatore e schermo; (4) la concentrazione elettronica e il diametro del punto luminoso; (5) le riflessioni multiple di luce, nell'interno del reticolo cristallino; e (6) la differenza di luminosità delle diverse immagini.

Si indica con **risolvenza** la capacità dell'occhio di percepire, distinti, particolari molto piccoli dell'immagine.

Il limite di risolvenza, per quanto riguarda gli schermi di tubi a raggi catodici, risulta determinato dalle dimensioni dei cristalli costituenti il fosforo, nonché dal diametro del punto luminoso.

Si indica con « persistenza della visione » la capacità che ha l'occhio di conservare per un certo tempo la sensazione di luminosità dopo che lo stimolo sia cessato. Il valore della persistenza varia con l'individuo, ma è in genere compreso tra un decimo ed un ventesimo di secondo.

L'« affaticamento » è infine l'ultima importante caratteristica che definisce il comportamento dell'occhio.

È importante, trattandosi di misure, che l'occhio dell'osservatore non insista eccessivamente

nell'esame di dettagli dell'immagine, perché ciò potrebbe diminuire grandemente le prestazioni dell'organo visivo.

Per tale motivo, appunto, si ricorre sempre più sovente all'impiego della registrazione fotografica che consente la rapida ripresa dei fenomeni transitori, con la possibilità di esaminare successivamente e con la massima comodità, le registrazioni effettuate.

Metodo fotometrico

Sebbene i dispositivi di rivelazione fotometrica quali fotocellule, fototubi e fotomoltiplicatori siano meno selettivi e meno adattabili dell'occhio umano ad una vasta gamma di colori e di livelli luminosi, nondimeno essi presentano il vantaggio di essere dei rivelatori oggettivi anziché soggettivi.

Le loro caratteristiche possono essere adattate ad una specifica applicazione. È cioè possibile, caso per caso, alterare il loro responso spettrale e la loro sensibilità; la loro persistenza ha in genere un valore molto ridotto, aggirandosi, per un fototubo moltiplicatore sui 10^{-7} secondi.

Metodo fotografico

La rivelazione fotografica degli oscillogrammi tracciati sugli schermi dei tubi viene effettuata ogni qualvolta si desideri avere una registrazione permanente dell'immagine e quando le immagini si muovono troppo velocemente sullo schermo per poter essere rilevate visivamente, o siano troppo deboli per essere rilevate otticamente o con altri sistemi.

Pregio delle registrazioni fotografiche è anche quello di eliminare completamente gli errori di parallasse e di consentire un'analisi dei particolari della forma d'onda in esame tramite un ingrandimento del negativo.

Pur essendo fondamentalmente un rivelatore di immagine oggettivo, è chiaro che l'apparecchio fotografico non offre quelle possibilità di adattabilità proprie dei dispositivi fotometrici prima citati.

Le caratteristiche spettrali della macchina fotografica di ripresa risultano delimitate non solamente dalle caratteristiche delle emulsioni e dalle carte fotosensibili, ma anche dal tipo di obbiettivo e degli specchi di rinvio (specchi dicroici).

In genere, la maggior parte delle emulsioni, già usate con successo per registrazioni oscillografiche, presentano un massimo di sensibilità nella parte azzurra e violetta dello spettro, nondimeno, poiché tale materiale fotografico è in genere previsto per un più largo uso fotografico, la banda passante spettrale di tali pellicole è piuttosto estesa.

Di norma, a condizione che l'immagine riprodotta sullo schermo del tubo a raggi catodici sia sufficientemente luminosa, è possibile effettuare buone riproduzioni con qualsiasi tipo di schermo.



Fig. 23 H - L'apparecchio fotografico da utilizzare professionalmente per la ripresa degli oscillogrammi deve essere dotato di coni di adattamento che consentano una comoda messa a fuoco e, nello stesso tempo evitino riflessioni parassite. Tra i tipi di attrezzatura disponibile è da segnalare quella che ricorre al noto sistema Polaroid grazie al quale si possono ottenere fotografie delle tracce in soli 15 secondi.

Nei casi in cui la resa luminosa dello schermo sia piuttosto bassa, è consigliabile ricorrere a tubi a raggi catodici con fosforo avente un massimo di resa nel violetto (fosforo P 11, ad esempio).

Oltre al massimo di sensibilità nel violetto, il fosforo deve avere una bassa persistenza onde non dare luogo alla formazione di code luminose per immagini in rapido spostamento.

Se il fosforo mostra un accentuato fenomeno di fosforescenza con emissione di luce di colore indesiderato, è possibile ed opportuno filtrare tale componente cromatica con un filtro ottico oppure scegliere una emulsione che sia insensibile a tale colore.

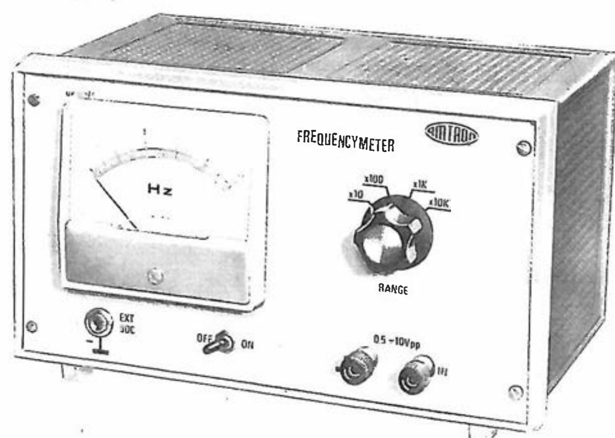
La preparazione di tabelle di posa per le diverse pellicole in funzione del tipo di fosforo del tubo e della velocità di spostamento del pennello elettronico in varie condizioni di ripresa è lavoro estremamente difficile, perché troppi sono i fattori che intervengono successivamente nel definire la qualità del fotogramma impresso (invecchiamento della pellicola, qualità dello sviluppo e del fissaggio del negativo).

È più consigliabile effettuare dei provini, preventivamente, su immagini che presentano caratteristiche simili all'originale da riprodursi.

Sebbene ogni macchina fotografica o cinematografica possa essere adattata per riprese oscillografiche, è tuttavia consigliabile ricorrere ad apparecchiature particolarmente previste per quell'unico impiego, le quali sono dotate di tutti i meccanismi e regolazioni necessarie per ottenere immagini di qualità con un tempo ridotto di preparazione dello strumento (**figura 23 H**).

Tabella 1 H - CARATTERISTICHE DEI FOSFORI PER SCHERMI DI TUBI A RAGGI CATODICI

Fosforo	Colore di emissione		Persistenza	Applicazione
	Fluorescenza	Fosforescenza		
P-1	Verde giallastra	Verde giallastra	Media	Oscillografia - Impieghi generali
P-2	Verde giallastra	Verde giallastra	Medio-corta	Oscillografia - Impieghi generali
P-3	Arancione giallastra	Arancione giallastra	Media	
P-4	Bianca	Bianca	Medio-corta	Cinescopi monocromatici per TV
P-5	Blu	Blu	Medio-corta	Registrazione fotografica veloce
P-6	Bianca	Bianca	Corta	Non più usato
P-7	Bianca	Verde giallastra	Lunga	Radar di sorveglianza - Oscillografia
P-8	Non più usato	Sostituito da P-7	——	——
P-9	Non più usato	——	——	——
P-10			Traccia scura, molto lunga	Con sorgente di luce esterna; persistenza da secondi a mesi
P-11	Blu	Blu	Medio-corta	Registrazione fotografica
P-12	Arancione	Arancione	Lunga	Radar antincendio
P-13	Rossa	Rossa	Media	Radar di sorveglianza, notte
P-14	Blu porporino	Arancione giallastra	Blu, medio-corta Giallo verdastra, media	Radar di sorveglianza
P-15	Verde	Verde	Visibile, corta Ultravioletta, molto corta	Ripresa TV foto con scansione a punto mobile
P-16	Porpora bluastra	Porpora bluastra	Moltò corta	Ripresa TV foto con scansione a punto mobile
P-17	Da bianco gialla a bianco blu	Gialla	Blu, corta Gialla, lunga	Usi militari
P-18	Bianca	Bianca	Media	TV a bassa frequenza di quadro
P-19	Arancione	Arancione	Lunga	Indicatori radar notturni
P-20	Gialla-Verde	Gialla-Verde	Medio-corta	Registrazioni fotografiche - Conservazione immagine
P-21	Arancione rossastra	Arancione rossastra	Media	
P-22	Schermo tricromico		Medio-corta	Televisione a colori
P-23	Bianca	Bianca	Media	Bianco freddo (seppia) intercambiabile con P-4
P-24	Verde	Verde	Corta	Analizzatori a punto mobile TV a col.
P-25	Arancione	Arancione	Media	Radar di sorveglianza notturna
P-26	Arancione	Arancione	Molto lunga	Radar di sorveglianza
P-27	Arancione rossastra	Arancione rossastra	Media	Controllo (monitori) per TV a colori
P-28	Gialla-Verde	Gialla-Verde	Lunga	Radar di sorveglianza
P-29	Schermo bicolore		Media	Indicatori per strumenti su aerei
P-30	Verde	Verde	Medio-corta	Oscillografia - Conservazione immagine
P-31	Verde	Verde	Molto corta	Visualizzazione - Oscillografia
P-32	Blu porporina	Verde giallastra	Lunga	Radar di sorveglianza
P-33	Arancione	Arancione	Molto lunga	Radar di sorveglianza
P-34	Verde bluastra	Gialla-Verde	Molto lunga	Conservazione immagini
P-35	Blu-Bianca	Gialla-Verde	Medio-corta	Registrazione fotografica
P-36	Verde giallastra	Verde-Gialla	Molto corta	Registrazione fotografica
P-37	Blu	Blu	Molto corta	Registrazione fotografica e scansione a punto luminoso
P-38	Arancione	Arancione	Molto lunga	Radar a ripetizione lenta
P-39	Verde giallastra	Verde giallastra	Lunga	Radar a ripetizione lenta
P-40	Bianca	Verde giallastra	Lunga	Radar a ripetizione lenta
	Verde	Verdastra	Medio-lunga	Radar
P-41	Gialla	Gialla	Molto corta	Per ultravioletto filtrando luce
P-42	Verde giallastra	Verde giallastra	Media	Radar a ripetizione lenta e calcolatori
P-43	Verde giallastra	Verde giallastra	Media	Radar di sorveglianza
P-44	Verde giallastra	Verde giallastra	Media	Radar di sorveglianza
P-45	Bianca	Bianca	Media	Radar di sorveglianza



Un lettore di frequenze

Indica la frequenza entro un campo da 0 a 100 000 Hz, suddiviso in 4 gamme per comodità di lettura. Alimentato autonomamente (9 volt) o dall'esterno. Tensioni entranti da 0,5 a 10 volt di picco. Indicazione e lettura su scala di strumento a bobina mobile.

Criterio del progetto

Prima che si realizzassero i semiconduttori e le tecniche circuitali ad essi inerenti, i frequenzimetri di bassa frequenza per laboratorio erano di natura piuttosto complessa; il loro prezzo elevato ne limitava l'impiego esclusivamente ai laboratori di una certa importanza.

In passato inoltre, i tecnici hanno sempre sottovalutato questi strumenti di misura che invece sono della massima importanza per effettuare la messa a punto, il controllo o la riparazione di qualsiasi circuito di bassa frequenza, compresi i generatori e gli oscillatori.

Per questi motivi è stato progettato il frequenzimetro che qui presentiamo, nel quale sono impiegati esclusivamente semiconduttori. Le prestazioni sono elevate, tanto che spesso superano quelle conseguibili con altri strumenti dello stesso tipo ma molto più costosi.

★ ★ ★

Il metodo più corrente per effettuare la misura di una grandezza, lo abbiamo visto, consiste nella utilizzazione di uno strumento ad indice che segni direttamente il valore che si desidera conoscere, in modo cioè, che l'angolo di deviazione dell'indice dello strumento sia funzione della grandezza misurata.

In una misura di questo genere esiste pertanto fra la causa e l'effetto una analogia per cui il sistema è noto, per l'appunto, con il nome di metodo analogico.

Apparentemente si tratta di un sistema di misura diretto che in effetti deve essere definito indiretto perché la grandezza incognita e quella mediante la quale si effettua il confronto, cioè la lettura, sono di natura differente.

Il circuito adottato permette di trasformare le informazioni digitali — in questo caso le frequenze che si devono misurare — in segnali analogici il cui valore è indicato direttamente dall'indice sulla scala di un milliamperometro opportunamente tarato.

Il campo di misura che va da 0 Hz ÷ 100 kHz, è suddiviso in quattro sottogamme nel seguente modo:

1°) da 0 Hz ÷ 100 Hz
2°) da 0 Hz ÷ 1000 Hz
3°) da 0 Hz ÷ 10 kHz
4°) da 0 Hz ÷ 100 kHz

La tensione di ingresso può variare da 0,5 ÷ 10 V_{pp} senza che la misura sia soggetta ad alterazioni.

Il milliamperometro impiegato ha una scala molto ampia, in modo da facilitare la lettura dei valori della frequenza in hertz od in chilohertz.

Circuito elettrico

Il circuito del frequenzimetro è illustrato in **figura 24 H.** I segnali presenti all'ingresso — e dei quali si desidera conoscere la frequenza — vengono trasformati in altrettanti segnali rettangolari e, successivamente, in impulsi che servono a comandare un circuito monostabile.

La prima sezione del circuito, che comprende il transistore Tr1 (BC107B), ed alla quale i segnali pervengono dall'ingresso, tramite il condensatore C1, ha il solo compito di amplificare opportunamente i segnali stessi prima di trasferirli al circuito « trigger », con transistore Tr2 (anch'esso del tipo BC107B).

Detto circuito trasforma i segnali sinusoidali in altrettanti segnali rettangolari, la cui frequenza ovviamente è identica a quella della tensione applicata all'ingresso.

Il circuito è calcolato in modo tale che ciascun periodo rettangolare presenti fianchi ben definiti e molto ripidi. È questa una condizione essenziale affinché sia possibile ottenere degli impulsi differenziati a mezzo della rete RC che è costituita dal condensatore C4 e dal resistore R5.

Poiché i suddetti impulsi hanno ovviamente, tanto il senso positivo quanto quello negativo (di modo che il valore medio della corrente in pratica risulta nullo), si provvede a raddrizzare la componente impulsiva, che successivamente dovrà essere misurata, mediante il diodo D1 (tipo BA100), sì da sopprimere la semionda negativa.

I segnali così raddrizzati sono inviati al multivibratore costituito dai due transistori Tr3 e Tr4, entrambi del tipo BC107B, in modo che ciascun ciclo comprenda due impulsi distinti, il primo comandato, il secondo spontaneo le cui caratteristiche sono legate alla rete di integrazione RC e che serve per l'appunto per effettuare il confronto e la misura.

Di conseguenza, all'uscita del collettore del transistore Tr3, al quale fa capo lo strumento di misura 1 mA f.s., si ha un unico segnale la cui durata del ciclo e l'ampiezza restano costanti per qualsiasi tipo di impulso che sia inviato al suo ingresso, purché esso sia sufficientemente ampio da consentire il regolare funzionamento del circuito stesso.

Pertanto, all'uscita del circuito monostabile si avranno impulsi uniformi per quanto concerne la durata del ciclo e la loro ampiezza **ma la cui larghezza sarà variabile.**

Tale variazione dipenderà esclusivamente dalla frequenza e di conseguenza la larghezza sarà tanto più piccola quanto maggiore la frequenza, e tanto più ampia quanto minore la frequenza.

In questo tipo di circuito il numero degli impulsi è generalmente limitato sia verso l'alto sia verso il basso. Nel caso che la frequenza diventi troppo bassa si può verificare una certa tendenza a oscillazioni spurie le quali renderebbero difficoltosa la lettura, mentre in presenza di frequenze troppo alte gli impulsi di tensione potrebbero differenziarsi sensibilmente da quelli dovuti alla rete costituita dai gruppi C5, R9, P1 ... C8, R12, P4, per il fatto che i condensatori non riescono a scaricarsi durante il tempo che passa fra due impulsi successivi.

Perciò, nel circuito di questo frequenzimetro questa rete di integrazione è stata scelta in modo tale che la sua costante di tempo risulti molto bassa e quindi la misura della frequenza da 0 ÷ 100 kHz sia sempre possibile senza che si manifestino i suddetti inconvenienti.

Tali condizioni poi sono state ulteriormente facilitate dalla suddivisione dell'intera gamma in quattro sottogamme.

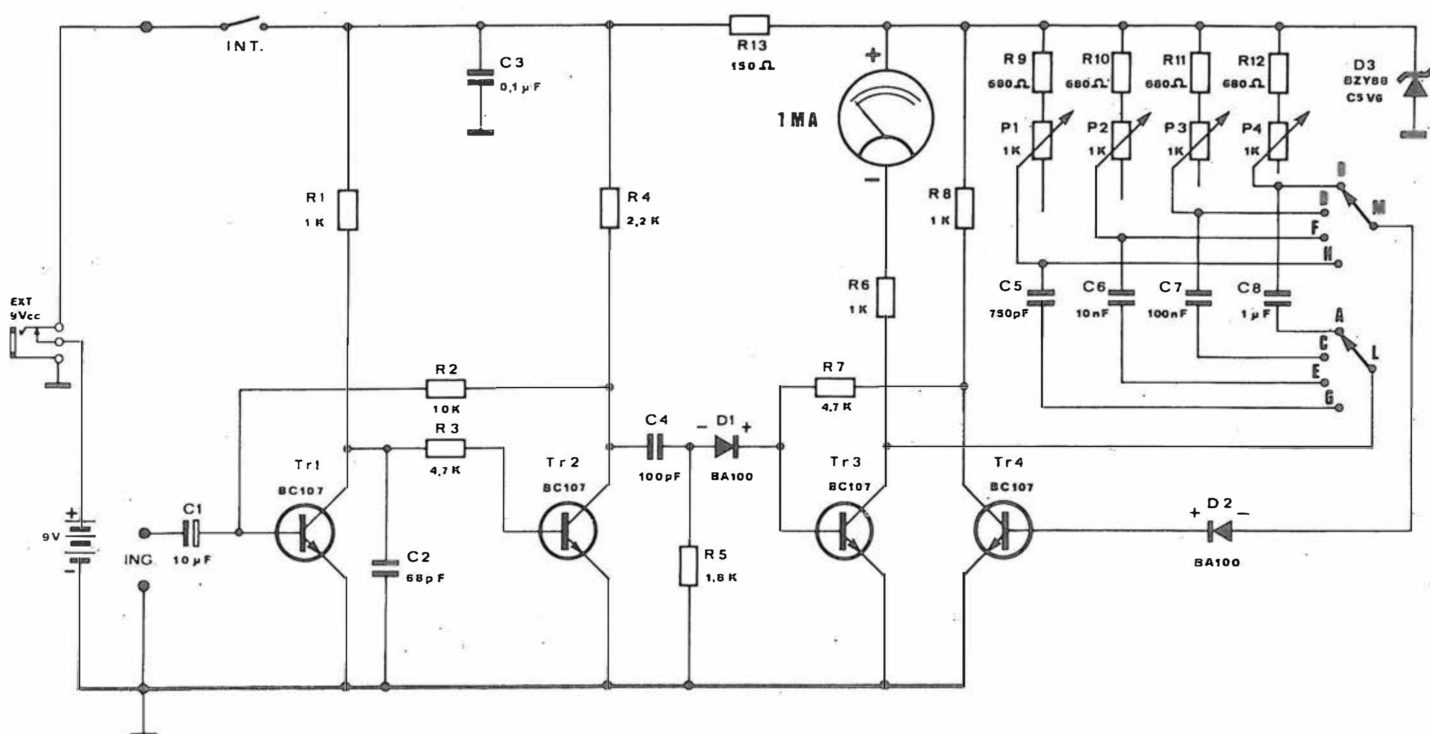
La rete di integrazione, oltre ai condensatori ed ai resistori fissi, comprende quattro « trimmer » potenziometrici P1, P2, P3 e P4, tutti da 1 kΩ (facenti capo al commutatore M) il cui compito è quello di consentire la taratura di ciascuna gamma del frequenzimetro.

Il diodo D2, BA100, ha il compito di assicurare la certezza che le correnti di carica e di scarica, che sono applicate alla rete di integrazione, circolino sempre nello stesso senso, mentre il diodo Zener D3, BZY 88C5V6, ha il compito di stabilizzare la tensione di alimentazione sul previsto valore di 5,6 V.

L'alimentazione dell'intero circuito del frequenzimetro è fornita da una pila incorporata da 9 V, la cui durata è notevole, considerato il basso assorbimento di corrente.

È anche prevista una presa per l'alimentazione esterna, tanto tramite batteria quanto mediante un alimentatore in grado di fornire la richiesta tensione di 9 V c.c.

Fig. 24 H - Schema elettrico. Il primo transistore (Tr 1) amplifica i segnali entranti (ING.) dei quali si vuole conoscere la frequenza. Il secondo transistore (Tr 2) riceve, tramite R3, detti segnali e li trasforma nella forma d'onda rettangolare, la cui semionda negativa viene soppressa mediante D1. Tr 3 e Tr 4 oscillano e pongono a confronto due frequenze, quella entrante e quella generata localmente. Gli impulsi che si hanno in uscita di Tr 3 (letti dal milliamperometro) presentano una larghezza che dipende appunto dalla frequenza e che può essere indicata come tale.



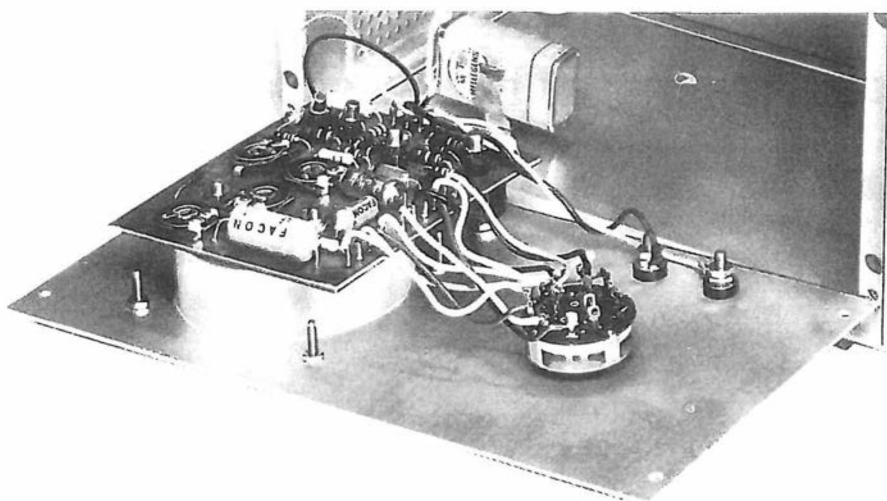


Fig. 25 H - La piastrina a circuito stampato, che reca praticamente tutti i componenti, trova la sua sistemazione sopra alla custodia dello strumento; tra di essa ed il resto sono da eseguirsi alcuni collegamenti con conduttore, in particolare quelli, chiaramente visibili, col commutatore doppio M-L. Il tutto è ancorato al pannello frontale che chiuderà, in ultimo, la cassetta.

Fasi della realizzazione

Le operazioni di montaggio e di cablaggio sono facilitate oltre che da istruzioni molto dettagliate, da riproduzione serigrafica e fotografica del circuito stampato e da esplosi di montaggio con relative tabelle che illustrano chiaramente in quale ordine debbano susseguirsi le varie operazioni di montaggio stesse.

L'ordine di successione delle varie fasi di montaggio è il seguente:

1) Montaggio componenti sul circuito stampato.

2) Montaggio componenti sul pannello anteriore.

3) Cablaggio.

4) Operazione di rifinitura.

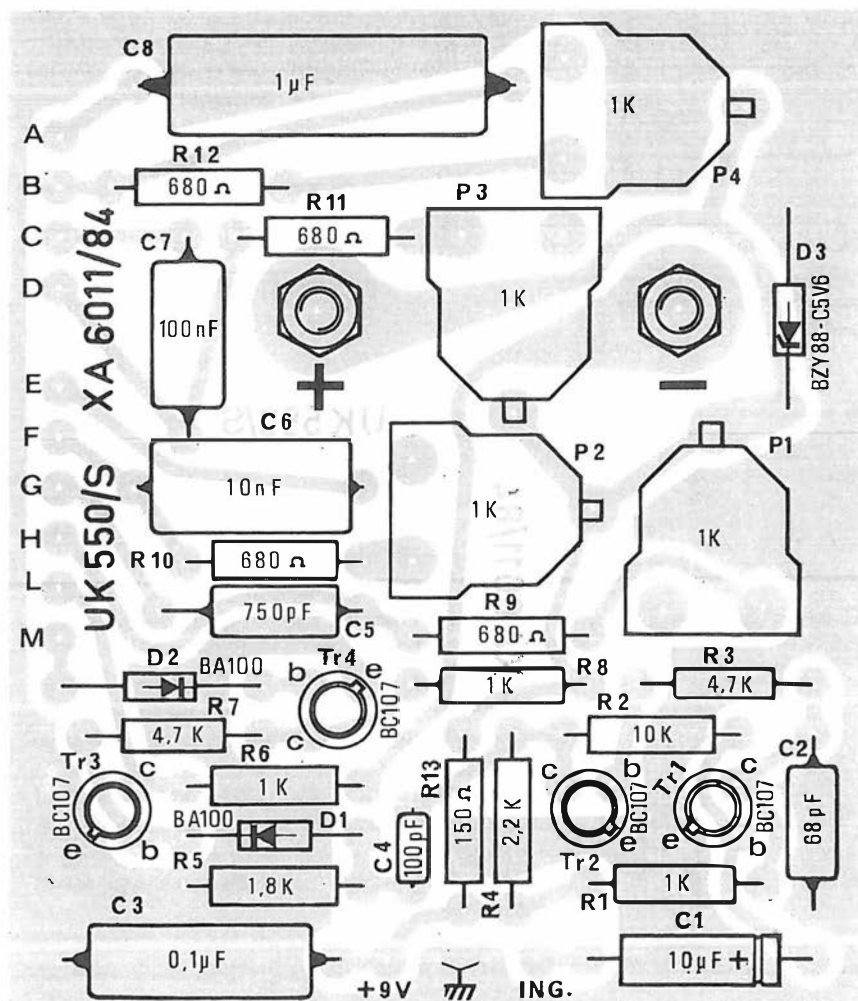


Fig. 26 H - Piastra a circuito stampato e componenti relativi. Le lettere a sinistra, indicano altrettanti punti di saldatura dei conduttori flessibili da avviare al commutatore (vedi fotografia qui sopra). L'apparecchiatura è classificata (kit) dalla Amtron come UK 550/S.

Taratura

Prima di accendere l'apparecchio accertarsi con un ohmetro che non vi sia cortocircuito tra il positivo dell'alimentatore e massa.

La taratura dello strumento non presenta difficoltà; naturalmente, per poterla eseguire correttamente è necessario disporre di un altro generatore di frequenza possibilmente ad alta precisione. Per le frequenze basse può anche essere utile la tensione di rete (opportunamente ridotta!) la cui frequenza (50 Hz) è assai precisa.

È necessario pertanto rivolgersi ad un amico o ad un laboratorio che posseggano uno strumento di questo tipo per poter eseguire in pochi minuti le operazioni di messa a punto.

Il segnale d'ingresso può variare, come è già stato spiegato, fra 0,5 e 10 V_{pp} comunque, la taratura può essere eseguita con un segnale di 2 o 3 V, ed in modo da ottenere la massima deviazione (cioè per il fondo scala).

La tabella indica come debbono susseguirsi le varie operazioni di taratura.

Posizione commutatore	Frequenza d'ingresso	« Trimmer » da regolare per indice fondo scala
x 10	100 Hz	P4
x 100	1000 Hz	P3
x 1 k	10 kHz	P2
x 10 k	100 kHz	P1

Le onde non sinusoidali

Le tensioni alternate di cui ci siamo occupati fino ad ora nel nostro studio, o per meglio dire nel nostro esame del loro comportamento rispetto ai circuiti, sono tutte di tipo sinusoidale. Ciò, sia per quanto riguarda le frequenze molto basse (ad esempio le tensioni di rete a 50 Hz), che per quanto riguarda le audio frequenze o Alte Frequenze.

Occorre tuttavia notare che, mentre per quanto riguarda le tensioni di rete e le oscillazioni ad Alta Frequenza usate nella radiodiffusione, si tratta quasi sempre di segnali sinusoidali, nel caso delle audio frequenze — ossia di quei segnali elettrici che rappresentano fedelmente l'andamento delle onde sonore — solo raramente si ha a che fare con forme d'onda perfettamente sinusoidali.

Consideriamo, ad esempio, il segnale elettrico che proviene da un microfono, in relazione ai diversi tipi di suoni che possono agire su quest'ultimo:

1) i rumori sono rappresentati da un susseguirsi casuale di onde di diversa forma e frequenza, aventi comunque un andamento del tutto irregolare;

2) i suoni emessi dalla voce umana presentano una certa regolarità, ma risultano sempre costituiti da forme d'onda estremamente complesse;

3) le note provenienti da uno strumento musicale, determinano, invece, segnali che già si possono classificare tra le forme d'onda periodiche.

Per forma d'**onda periodica** si intende il susseguirsi di onde che, pur non essendo — in generale — sinusoidali, presentano, tuttavia, una certa regolarità nel senso che, ad intervalli di tempo costanti (e precisamente pari al periodo dell'onda in questione) assumono un andamento eguale a quello del ciclo precedente.

In tal modo, si ha un susseguirsi regolare di cicli che, pur potendo essere nella loro forma anche molto complessi, risultano tutti eguali fra loro.

Se prendiamo in considerazione, ad esempio, il segnale proveniente dal suono di un violino — segnale rappresentato alla **figura 27 H** — vediamo che un intero ciclo dura dal punto « A » al punto « B », dando luogo ad una forma d'onda che si differenzia in modo notevole da quella sinusoidale a noi nota. Questi cicli, tuttavia, si ripetono consecutivamente e sono tutti eguali tra loro; è proprio questa caratteristica che trasforma un suono generico in una nota musicale.

Tenendo conto di quanto abbiamo detto, si comprende che, per poter accertare la qualità di un amplificatore di Bassa Frequenza, non è sufficiente prendere in considerazione il suo comportamento rispetto a segnali di tipo sinusoidale, ma bisogna tenere conto che i suoni musicali possono avere elementi anche del tutto diversi, i quali **non devono essere modificati**, ossia « distorti », durante il processo di amplificazione.

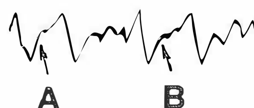


Fig. 27 H - Forma d'onda del suono emesso da un violino. Un ciclo va da A a B; la forma è quindi ben diversa dalla sinusoide.

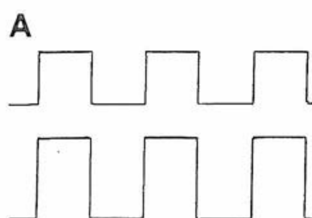


Fig. 28 H - Forme d'onda di tipo geometrico, quadra (in alto) e rettangolare.

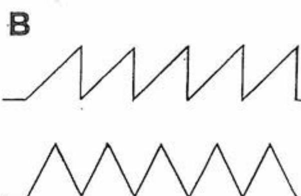


Fig. 28 H - Forma d'onda ideale a dente di sega (in alto) e triangolare.

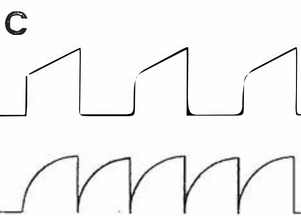


Fig. 28 H - Forma d'onda trapezoidale (in alto) ed esponenziale.

Lo studio delle forme d'onda non sinusoidali, tuttavia, non è importante solo per quanto riguarda la riproduzione delle audio frequenze.

Stanno infatti assumendo importanza sempre più rilevante, nella tecnica elettronica, le forme d'onda aventi un andamento di tipo geometrico, quali quelle rappresentate alla **figura 28 H.** In essa si può vedere in **A** un'onda quadra ed un'onda rettangolare, in **B** un'onda a « dente di sega » ed un'onda triangolare, in **C** un'onda trapezoidale ed un'onda esponenziale.

Gli andamenti rappresentati nella figura sono quelli ideali; di solito, nella pratica, non è strettamente necessario, ed è anche assai difficile, ottenere forme d'onda che siano perfettamente eguali a quelle ideali.

Le forme d'onda geometriche di cui si è parlato, non provengono, come quelle accennate in precedenza, da suoni; esse vengono invece generate appositamente mediante opportuni circuiti elettronici, di cui ci occuperemo presto.

Uno strumento per generarle è appunto descritto a pagina 28 h e seguenti.

Composizione

Come già detto, tutti i concetti trattati nelle lezioni precedenti venivano riferiti a segnali di tipo sinusoidale. Poiché ogni tipo di forma d'onda si comporta in modo diverso al suo passaggio attraverso un circuito elettronico, si potrebbe pensare che sia necessario costruire, per ogni tipo di onda che interessa, una nuova teoria dei circuiti elettronici.

Si può evitare ciò, tenendo conto del **teorema di Fourier**, fondamentale nello studio delle forme d'onda ed in tutta l'elettronica.

Vediamo ora, senza entrare in quei dettagli matematici che esulano dai fini del nostro Corso, di illustrarne il contenuto nel modo più chiaro possibile.

Sommando più segnali sinusoidali — diversi tra loro in ampiezza, frequenza e fase — si ottiene un segnale che, pur non essendo più sinusoidale, è pur sempre **periodico**, ossia si ripete con cicli costanti.

Ci domandiamo ora: sarà possibile anche effettuare il procedimento inverso, ossia, dato un qualunque segnale periodico non sinusoidale,

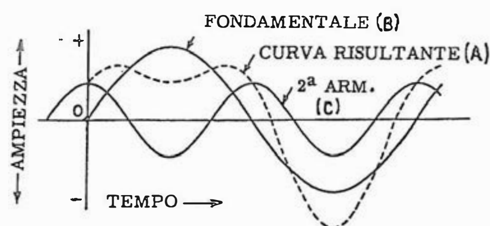


Fig. 29 H - La curva tratteggiata (A) mostra un segnale periodico costituito dalla sovrapposizione di una frequenza fondamentale (B) alla seconda armonica della stessa (C). Questa forma d'onda può assumere un andamento diverso se varia la relazione di fase fra i due segnali sovrapposti.

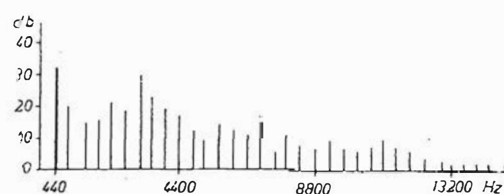


Fig. 31 H - Spettrogramma della nota di violino della figura 27 H. Le linee verticali rappresentano l'ampiezza delle diverse armoniche, la cui frequenza è indicata sulla scala orizzontale. La fondamentale è di 440 hertz (nota « la » della scala musicale).

suddividerlo in un certo numero di segnali sinusoidali di diverse ampiezze, frequenze e fasi, tali che, sommati tra loro, diano come risultato il segnale di partenza?

A questa domanda risponde appunto, con precisione, il teorema di Fourier: un segnale di forma qualunque, purché sia periodico, può sempre essere suddiviso in un certo numero di segnali di tipo sinusoidale.

Le frequenze di questi singoli segnali sono: la stessa del segnale periodico d'origine, (frequenza « fondamentale » o prima armonica), la frequenza doppia (« seconda armonica, o armonica del secondo ordine), la frequenza tripla (« terza armonica », od armonica del terzo ordine) e così via.

Nel caso di alcuni tipi di forma d'onda periodica si può avere una suddivisione in un numero finito di armoniche.

Ad esempio, alla **figura 29 H**, vediamo rappresentato un segnale periodico (**A**) che può venire decomposto in due soli segnali sinusoidali (**B**) e (**C**), che rappresentano, rispettivamente, la prima e la seconda armonica. Le armoniche superiori al secondo ordine in questo caso non sono presenti.

In altri casi occorre invece introdurre — per poter rappresentare esattamente un segnale — un numero assai superiore di armoniche. Altre volte, infine, il numero delle armoniche che occorre considerare è infinito. Vedremo in seguito parecchi esempi di tali tipi di segnale.

In quest'ultimo caso, comunque, si può tenere conto del fatto che più si sale con l'ordine delle armoniche, più diminuisce la loro ampiezza, e quindi la loro importanza ai fini di una accurata rappresentazione del segnale di partenza.

Come abbiamo visto, le frequenze delle varie armoniche che compongono un segnale periodico qualunque, possono essere determinate molto facilmente moltiplicando la frequenza fondamentale per 1, per 2, per 3 e così via.

La determinazione delle ampiezze e delle fasi di tali segnali sinusoidali non è invece così immediata e richiede, se si eccettuano alcuni casi particolari, calcoli matematici di natura notevolmente complessa, che tralasciamo di esporre.

Oltre a quanto detto finora riguardo alla rappresentazione di un'onda non sinusoidale, occorre tener conto della cosiddetta **componente continua**.

Infatti, una volta raggiunto — mediante il teorema di Fourier — l'andamento esatto dell'onda originale, bisogna considerare che questa può trovarsi sia centrata rispetto all'asse della tensione zero, sia spostata in senso positivo o negativo. L'ampiezza di questo spostamento rappresenta appunto la componente continua del segnale.

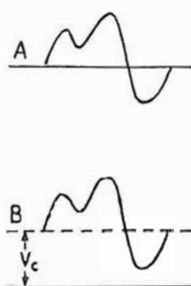


Fig. 30 H - Forma d'onda senza componente continua (A), e la stessa onda con componente continua (B). Come si nota, la forma d'onda non subisce variazioni per effetto della continua.

Ad esempio, alla **figura 30 H**, vediamo in **A** un'onda con componente continua nulla, mentre in **B** la stessa onda presenta una componente positiva V_c.

Per poter determinare il comportamento di un'onda periodica non sinusoidale al suo passaggio in un circuito elettronico qualunque, ci basta suddividerla nelle singole armoniche che la compongono, considerare separatamente i comportamenti di queste, ed infine ricomporre i segnali presenti all'uscita.

Ciò vale, in particolare, sia per quanto riguarda le audio frequenze, sia per quanto riguarda le varie forme d'onda di tipo geometrico rappresentate alla figura 28 H.

Ad esempio, effettuando un'analisi della forma d'onda riportata in figura 27 H (suono di un violino), si ottiene uno spettro di armoniche del tipo di quello rappresentato alla **figura 31 H.**

Come si può notare, la frequenza fondamentale è, in questo caso, di 440 Hz, mentre le armoniche si estendono teoricamente all'infinito: in pratica fino a circa 15 000 Hz.

Volendo amplificare fedelmente tale suono non è quindi sufficiente un dispositivo che permetta il passaggio dei soli 440 Hz (frequenza fondamentale), ma occorre un amplificatore la cui banda passante si estenda, all'estremo alto, almeno fino a 15 000 Hz. In caso contrario, si introduce una variazione del segnale presente all'uscita, derivante dalla mancanza delle armoniche superiori, e si ha quindi una alterazione che possiamo definire distorsione di forma.

Mentre l'« altezza » di un suono musicale viene determinata dalla frequenza fondamentale, il « timbro » viene determinato dal diverso contenuto in armoniche superiori.

Ad esempio, se suoniamo la stessa nota con un violino e con un pianoforte, la frequenza fondamentale è la medesima ma, nonostante ciò, possiamo distinguere le due diverse fonti. Ciò perché le armoniche, pur essendo ancora eguali come frequenza, sono nettamente diverse per quanto riguarda le ampiezze relative e le fasi.

Se si eliminano quindi le armoniche superiori, si toglie ad ogni suono musicale il suo carattere, poiché, in tal caso, le note provenienti dai

diversi strumenti hanno la tendenza a divenire tutte simili tra loro, ossia ad assumere lo stesso timbro.

Da quanto ora detto appare anche la possibilità di produrre elettronicamente, mescolando tra loro i segnali sinusoidali provenienti da oscillatori diversi, le cui frequenze siano tutte multiple di un'unica frequenza fondamentale, i suoni caratteristici di qualunque tipo di strumento.

Questo interessante argomento, riguardante la musica elettronica, verrà da noi sviluppato nel corso di una futura lezione: vogliamo comunque far notare fin d'ora che la realizzazione di apparecchiature elettroniche capaci di generare suoni musicali è interamente fondata sul metodo dell'analisi armonica delle forme d'onda.

Simmetria

Per determinare le ampiezze massime delle armoniche successive di una particolare forma d'onda, vengono usati diversi metodi.

Benché, come abbiamo detto, essi siano di natura piuttosto complessa, in alcuni casi la semplice osservazione della forma d'onda da analizzare fornisce elementi indicativi a proposito delle armoniche, specialmente se mette in rilievo la mancanza di alcune di queste.

Quando una forma d'onda periodica ha lo stesso andamento al di sopra ed al di sotto dell'asse della tensione zero, si dice che essa è **simmetrica** rispetto all'asse zero.

Il segnale rappresentato (A) alla **figura 32 H**, è un esempio di onda simmetrica rispetto all'asse zero. L'ampiezza infatti è +2 all'istante t=0, e scende a zero all'istante t = 2. Successivamente scende fino a — 2, per t = 4.

La parte positiva di questa forma d'onda è identica alla parte negativa. Si ha quindi simmetria rispetto all'asse zero.

Un segnale periodico presenta una simmetria del tipo « quarto d'onda » quando i due quarti d'onda che si trovano affiancati durante ogni singolo mezzo ciclo sono simmetrici. Un'onda di tale genere si può osservare in B alla **figura 32 H.**

Il primo mezzo ciclo dura dall'origine al tempo t = 4. Se, al centro di questo mezzo ciclo, si traccia una retta perpendicolare (tratteggiata in figura), i due quarti d'onda in cui il mezzo ciclo risulta suddiviso sono simmetrici l'uno rispetto all'altro.

Analogamente, se consideriamo il mezzo ciclo che va dall'istante t = 4 all'istante t = 8, e tracciamo la perpendicolare nel punto 6, si ottiene la suddivisione in due quarti d'onda simmetrici.

Una forma d'onda presenta simmetria di tipo « mezza onda », detta anche « simmetria speculare », quando la semionda positiva è simmetrica alla semionda negativa rispetto all'asse zero.

Un esempio di questo tipo di simmetria si ha alla **figura 32 H** in C.

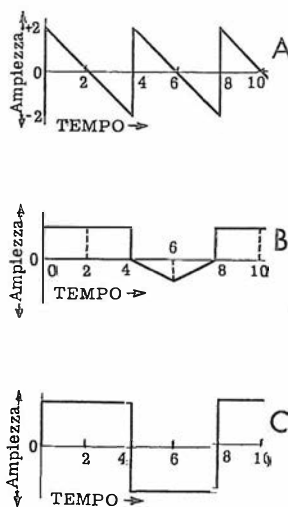


Fig. 32 H - Simmetria rispetto all'asse zero (A); simmetria di « quarto d'onda » (B) e di « mezza-onda » (C).

Il mezzo ciclo positivo da zero a 4 è esattamente il medesimo del semiciclo negativo da 4 a 8, se si eccettua il cambiamento di polarità.

Notiamo che, mentre quest'ultimo segnale ha anche una simmetria del tipo quarto d'onda, quello rappresentato in B, non presenta anche simmetria speculare o di mezza onda, poiché il semiciclo positivo è diverso dal semiciclo negativo.

La simmetria e le armoniche

Se una forma d'onda presenta una data simmetria, si trova che, sia la componente continua sia un certo numero di frequenze armoniche possono venire eliminate nella sua analisi.

L'effetto di una simmetria rispetto all'asse zero è rappresentato alla **figura 33 H**. Sono ivi disegnate due onde sinusoidali.

L'onda **1** è simmetrica all'asse zero. L'onda **2** ha esattamente la medesima forma, ma si trova spostata di dieci volt sopra all'onda 1. Essa non è quindi simmetrica rispetto all'asse zero.

Se aggiungiamo una tensione di dieci volt all'onda 1, le due onde coincidono. Quindi, l'onda 2 è eguale alla somma tra la tensione alternata dell'onda 1 e la tensione continua di dieci volt.

L'aggiunta di una componente continua, come abbiamo detto, non comporta alcuna variazione nella forma dell'onda.

Da quanto detto è chiaro che, « quando una forma d'onda è simmetrica rispetto all'asse zero, la sua componente continua è eguale a zero ».

L'onda 2 è simmetrica rispetto all'asse formato dalla linea tratteggiata al livello dei dieci volt.

Una forma d'onda che è simmetrica rispetto ad un asse indicante una tensione diversa da zero, ha una componente continua pari a questa tensione.

Consideriamo ora l'effetto delle armoniche di ordine pari sulla simmetria di una forma d'onda.

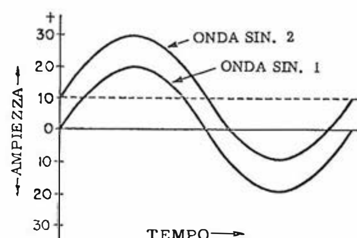


Fig. 33 H - Influenza della componente continua nei confronti della simmetria rispetto all'asse 0 di un segnale sinusoidale. L'onda 2 è identica all'onda 1, ma non è più simmetrica rispetto all'asse 0.

Nella **figura 34 H** è rappresentata la curva risultante quando si aggiunge alla fondamentale una seconda armonica. La forma d'onda risultante non ha simmetria speculare. Ciò accade anche quando alla fondamentale vengono aggiunte la quarta, la sesta, o qualunque altra armonica pari.

Possiamo quindi concludere che « la presenza di armoniche pari determina una mancanza di simmetria speculare ».

Ciò accade indipendentemente dalle fasi dei due segnali che si sommano.

Se invece prendiamo in esame la somma tra la fondamentale e la terza armonica, occorre considerare due casi.

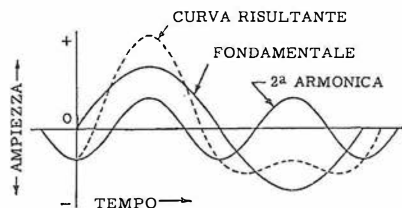


Fig. 34 H - Effetto delle armoniche pari sulla simmetria: come si vede, la curva risultante (tratteggiata) non ha simmetria speculare. Il medesimo fenomeno si manifesta per qualsiasi armonica pari.

Se i due segnali non sono sfasati si ottiene (**figura 35 H** in A) un segnale che presenta sia simmetria di mezza onda che simmetria quarto d'onda.

Se invece si ha uno sfasamento (ad esempio, alla **figura 35 H** in B, di 30°) si ha sempre la simmetria di mezza onda, mentre viene a mancare la simmetria quarto d'onda.

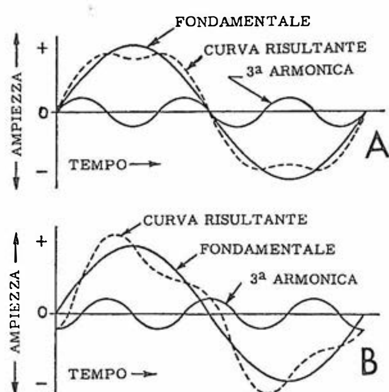


Fig. 35 H - Effetto delle armoniche dispari sulla simmetria di un'onda. In (A) si ha il caso in cui i due segnali non sono sfasati mentre in (B) quello in cui esiste uno sfasamento di 30°.

Possiamo quindi concludere che:

1) una forma d'onda che presenti simmetria rispetto all'asse zero non ha componente continua. Se vi è simmetria rispetto ad un altro asse orizzontale, la componente continua è eguale alla tensione indicata da questo asse.

2) una forma d'onda che presenti simmetria speculare denota la mancanza sia della componente continua sia delle armoniche di ordine pari.

3) una forma d'onda che abbia sia simmetria speculare sia simmetria quarto d'onda, manca di componente continua e di armoniche pari, e le armoniche dispari sono tutte in fase (partono con ampiezza zero all'istante $t = 0$).

4) una forma d'onda che presenti una simmetria speculare rispetto ad un asse orizzontale diverso da zero, ha la componente continua che già abbiamo indicata, però manca di armoniche pari.

Metodi di analisi

I concetti di reattanza e di frequenza non possono venire applicati direttamente alle onde non sinusoidali, così come possono esserlo alle onde sinusoidali.

Nel caso delle onde sinusoidali, la corrente che fluisce attraverso ad una induttanza o una capacità è pari, come vedremo, al rapporto fra la tensione applicata e la reattanza relativa. Vedremo presto anche che la reattanza induttiva è pari a $2\pi fL$, e la reattanza capacitiva a $1/2\pi fC$; in queste espressioni però la frequenza f è quella di una tensione alternata perfettamente sinusoidale.

Se la tensione applicata ha una forma d'onda non sinusoidale, queste formule perdono ogni valore, e di conseguenza il valore della corrente non può essere determinato con questo metodo. Quindi, per determinare le condizioni che si stabiliscono in un circuito quando ad esso vengono applicate tensioni non sinusoidali, occorrono tecniche proprie.

Si può perciò procedere secondo due diversi metodi: con uno di questi (teorema di Fourier) si esprime l'onda non sinusoidale in termini di una somma di onde sinusoidali aventi frequenze sottomultiple della fondamentale.

L'altro metodo, chiamato « responso alle tensioni transitorie », sviluppa delle relazioni tra corrente e tensione che possono essere applicate direttamente alle onde non sinusoidali.

Dei due metodi il più frequentemente utilizzato è il secondo, in quanto offre una maggiore semplicità di applicazione.

Onde transitorie

Allo scopo di poter procedere con chiarezza nella nostra esposizione, è necessario a questo punto svolgere una breve digressione per illustrare il concetto di **transitorio.**

Un transitorio è un'onda non sinusoidale che si determina momentaneamente quando variano le condizioni elettriche di un circuito.

Ad esempio, se in un circuito un interruttore viene aperto oppure chiuso, si determina una forma d'onda non sinusoidale che viene appunto chiamata « transitorio ».

In altre parole si tratta di una forma d'onda che si verifica durante il « transito », ossia durante il passaggio di un circuito da uno stato relativo ad una determinata corrente o tensione, ad un altro stato relativo a valori diversi di corrente o tensione.

Esiste quindi un tipo di onda, non sinusoidale, che è chiamata onda « aperiodica » (**figura 36 H**) e che compare ad intervalli regolari od anche per una sola volta.

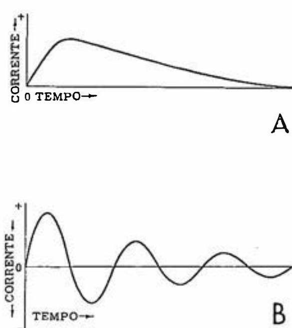


Fig. 36 H - Esempi di forme d'onda aperiodiche: un semplice semiperiodo (A) ed un'onda smorzata (B), che già ci è nota per averla incontrata addirittura nella nostra prima lezione.

L'esame del comportamento dei circuiti in stato transitorio si suddivide in relazione al fatto che essi siano circuiti resistivi, induttivi o capacitivi.

Comportamento con circuiti resistivi...

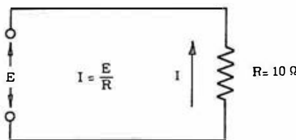
Il comportamento naturale di un circuito resistivo è definito dalla legge di Ohm, secondo la quale la tensione ai capi di una resistenza è

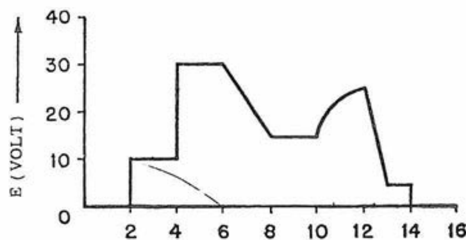
eguale al prodotto di questa per la corrente che fluisce in essa.

Con ciò si rende evidente ciò che ben sappiamo, e cioè che in circuito resistivo esiste, in ogni momento, una semplice relazione lineare fra tensione e corrente.

Quindi un circuito resistivo non è sede di fenomeni transitori, in quanto non richiede un tempo di adattamento ai cambiamenti di valore di tensione o di corrente.

Prendendo in esame la **figura 37 H**, vediamo che le forme d'onda della corrente e della tensione sono similari e correlate in ampiezza dal valore della resistenza R.





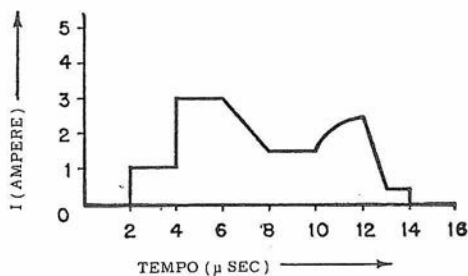


Fig. 37 H - Risposta di un circuito unicamente resistivo. Si dimostra che col circuito in questione (raffigurato in alto) la tensione (E) e la corrente (I) sono legate unicamente ad una relazione lineare (nessun tempo di adattamento).

Con R = 10 Ω, il valore della corrente sarà in qualsiasi momento pari ad 1/10 del valore della tensione, e ciò indipendentemente dal fatto che la tensione sia continua, alternata oppure pulsante.

...con circuiti induttivi

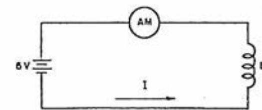
L'induttanza è un elemento che ha la proprietà di opporsi a qualsiasi variazione elettrica in un circuito.

Se, partendo da zero, al circuito viene applicata una tensione, l'induttanza tende ad impedire la circolazione della corrente e, per contro, qualora una corrente già circoli nel circuito e la tensione venga ridotta a zero, l'induttanza tende a mantenere la circolazione della corrente.

La proprietà di opporsi alle variazioni di corrente nel circuito è nota come forza contro-elettromotrice, la quale è direttamente proporzionale alle dimensioni dell'induttanza, nel senso che quanto più grande è l'induttanza tanto maggiore è l'opposizione a qualsiasi cambiamento elettrico.

La **figura 38 H** illustra una batteria da 5 volt, con impedenza interna nulla, collegata con una induttanza pura attraverso un amperometro.

La lettura dello strumento indica che la corrente aumenta con uniformità nel tempo; alla fine del primo secondo l'indice segna una corrente di 1 amp.; alla fine del secondo successivo si leggono 2 amp.; alla fine del quinto secondo si leggono 5 amp.; cioè il circuito ha un tas-



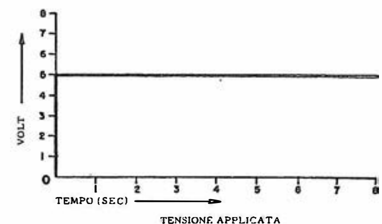
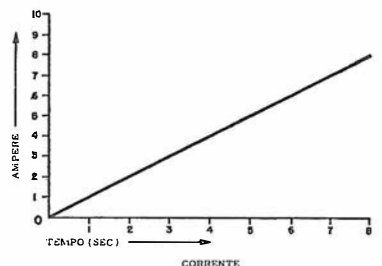


Fig. 38 H - Con un circuito puramente induttivo si ha (a lato) un andamento della tensione lineare e (sotto) un andamento di corrente uniformemente di corrente uniformemente variante.



so di incremento di 1 amp. al secondo e di conseguenza il valore della corrente, ad un istante qualsiasi, è direttamente proporzionale alla durata del tempo di applicazione della tensione.

Si noti che la forma d'onda della corrente è differente dalla forma d'onda della tensione applicata.

...e con circuiti capacitivi

Quando ai capi di un condensatore si applica una tensione continua oppure si varia quella già esistente, attraverso il circuito fluisce una corrente che, da un notevole valore iniziale, decresce rapidamente ed infine si annulla non appena la tensione di carico del condensatore ha eguagliato la tensione applicata.

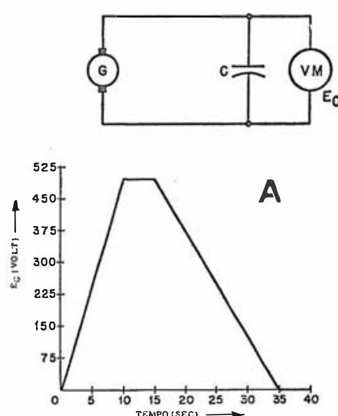
Questa tensione di carica agisce in opposizione alla tensione applicata e in brevissimo tempo si raggiungerà un punto di equilibrio.

A questo punto la corrente non fluisce più e, nei riguardi della tensione continua applicata, il circuito si comporta come se fosse aperto.

Quando il generatore viene disinserito, il condensatore si scarica, e la corrente fluirà con progressivo decrescimento fino a raggiungere il valore zero.

Supponiamo ora (**figura 39 H**), di collegare il condensatore con un generatore di tensione, collegando inoltre un amperometro in serie. il voltmetro indicherà una tensione uniformemente crescente nel tempo e direttamente proporzionale all'aumentare della carica nel condensatore.

Se alla fine del primo secondo il voltmetro segnerà 50 volt, alla fine del secondo successivo ne segnerà 100, ed alla fine del quinto secondo ne segnerà 250. L'amperometro indicherà la corrente come **B** della figura.



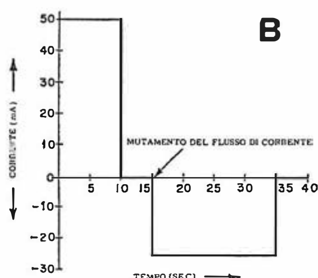


Fig. 39 H - Con un circuito puramente capacitivo si ha una tensione (A) crescente (carica) ed una decrescente (scarica) cui fa riscontro una forte corrente (B) assorbita e, alla scarica, restituita.

La capacità è eguale al rapporto fra la corrente ed il tasso di incremento della tensione; per esempio, nel caso su accennato, si ha C = 0,05 A/50 V = 1000 μF.

Se venisse utilizzato un condensatore da 100 μF il tasso di crescita della corrente sarebbe stato di 5 milliampère. Per una data carica, quanto minore è la capacità, tanto maggiore è la tensione ai capi del condensatore.

La capacità di un circuito è eguale alla corrente divisa per il tasso di accrescimento della tensione, e quindi, per un determinato tasso di incremento o decrescimento della tensione, quanto più piccolo sarà il valore della capacità, tanto più debole sarà la corrente.

In questa trattazione abbiamo supposto l'impiego di induttanze e condensatori puri; in realtà tutti i condensatori e tutte le induttanze presentano una resistenza-serie che modifica leggermente i valori dati.

Sinusoide e dente di sega

In base a quanto abbiamo sin qui appreso, risulta che qualsiasi forma d'onda non sinusoidale, che si produca periodicamente, può venire costruita combinando un'onda sinusoidale alla frequenza fondamentale con altre onde sinusoidali alle frequenze armoniche e, se necessario, con una opportuna tensione continua.

Ciascuna delle varie tensioni sinusoidali corrispondenti alle diverse frequenze armoniche deve avere — naturalmente — una determinata caratteristica di ampiezza e di fase.

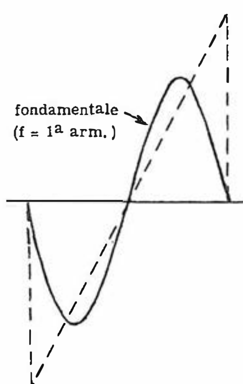


Fig. 40 H - Forma d'onda sinusoidale fondamentale e, tratteggiata, l'onda a denti di sega alla quale si perviene per aggiunta di frequenze armoniche come dalle figure che seguono.

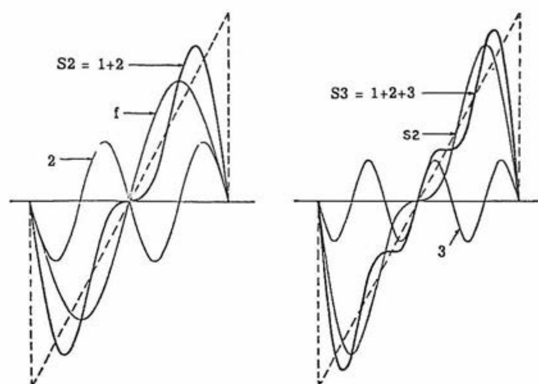


Fig. 41 H - Sovrapposizione della seconda armonica alla fondamentale e, a lato, aggiunta della terza armonica alla seconda.

L'onda a dente di sega è ottenuta addizionando ad una fondamentale sinusoidale (**figura 40 H**) le opportune armoniche.

La somma della fondamentale con la sua seconda armonica è rappresentata alla **figura 41 H.**

La curva risultante S2, comincia già ad asso-

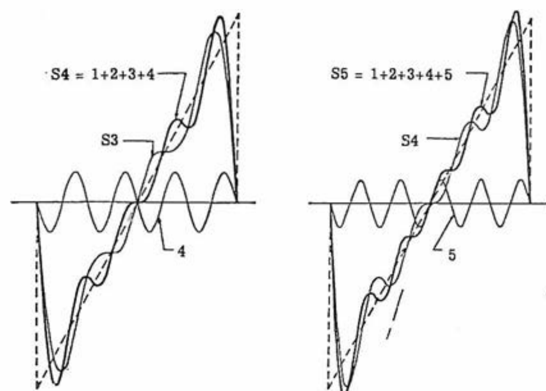


Fig. 42 H - Aggiunta della quarta armonica a quanto ottenuto in precedenza e, a lato, aggiunta anche della quinta armonica.

migliare all'onda a dente di sega più che non alla fondamentale da sola (curva 1). I picchi della curva S2 vengono spinti di lato.

Nella stessa figura si vede anche la curva risultante, S3, quando alla fondamentale ed alla seconda armonica si aggiunge anche la terza. In questo caso i picchi sono stati spinti ancora più a lato, e la forma generale comincia già ad assimigliare al dente di sega.

Successivamente, dalla **figura 42 H** alla **45 H**,

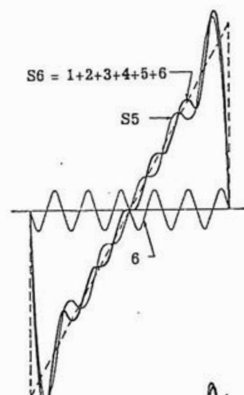


Fig. 43 H - Aggiunta della sesta armonica a quanto ottento in precedenza.

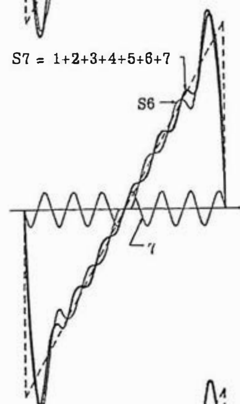


Fig. 44 H - Aggiunta della settima armonica al risultato di cui sopra.

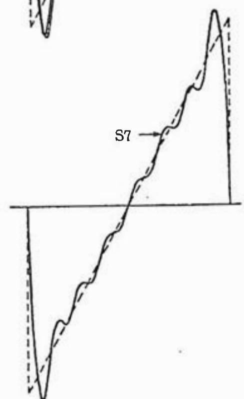


Fig. 45 H - Infine, forma risultante a dente di sega, così come essa è indicata alla prima di questa serie di figure.

le forme d'onda si ottengono — come è chiaro dalle figure stesse — aggiungendo ogni volta una successiva armonica (che è di ampiezza sempre minore).

La curva della figura 45 H, che contiene le armoniche fino alla settima, è molto vicina al dente di sega (linea tratteggiata), ed aggiungendo altre armoniche superiori ci si avvicinerebbe sempre più.

La riproduzione esatta si può ottenere tuttavia solo aggiungendo un numero infinito di armoniche (naturalmente di ampiezza che, progressivamente, tende ad avvicinarsi sempre più allo zero).

Sinusoide e onda quadra

Un altro tipo di onda, usato molto comunemente nelle apparecchiature elettroniche è l'onda quadra, rappresentata alla figura 28 H in A.

Quest'onda è composta da una frequenza fondamentale e da un numero infinito di frequenze armoniche.

La forma d'onda in questione, tuttavia, ha la particolarità che le armoniche di ordine « pari » (seconda, quarta, sesta, ecc.) sono di ampiezza eguale a zero.

Solo le armoniche « dispari » (prima, terza, quinta, ecc.) sono contenute nell'onda quadra.

Nella **figura 46 H** (Sez. **A**) sono rappresentate la fondamentale e la terza armonica, nonché la curva risultante da queste, S3. Per ogni ciclo della curva 1 si hanno tre cicli della curva 3. La curva risultante, S3, comincia ad avvicinarsi ad un'onda quadra (curva tratteggiata).

Nel caso della figura 46 H (Sez. **B**), si è aggiunta alla fondamentale ed alla terza armonica anche la quinta, ottenendosi così una migliore approssimazione.

In **C** si è aggiunta la settima armonica. Anche in questo caso, più si aumenta il numero delle armoniche, più ci si avvicina alla curva ideale dell'onda quadra.

Il numero delle armoniche necessario per ottenere un'onda perfetta dovrebbe essere infinito, tuttavia, poiché l'importanza delle armoniche va successivamente diminuendo, già prendendo in considerazione le prime dieci diverse da zero si ottiene in pratica una forma d'onda che si avvicina notevolmente al modello desiderato.

Sommando tra di loro onde sinusoidali di ampiezza, frequenza, e fase appropriate, si può pervenire ad ottenere qualunque tipo di forma d'onda si renda necessario nell'elettronica.

Si tenga presente che l'impiego di questi tipi d'onda è diffusissimo in televisione, nella telefonia multipla, nella radiolocalizzazione e nei calcolatori.

Effetto della banda passante

Quando si applica all'ingresso di un circuito, un segnale non sinusoidale, il numero delle armoniche componenti che compaiono all'uscita dipende dall'ampiezza della **banda passante** presentata da quel circuito.

La banda passante rappresenta quella gamma di frequenze che il circuito lascia passare con un minimo di attenuazione.

Per esempio, consideriamo l'effetto di un circuito la cui banda passante si estenda, all'estremo alto, fino a 3 kHz, su di un segnale ad onda quadra della frequenza fondamentale di 1000 Hz.

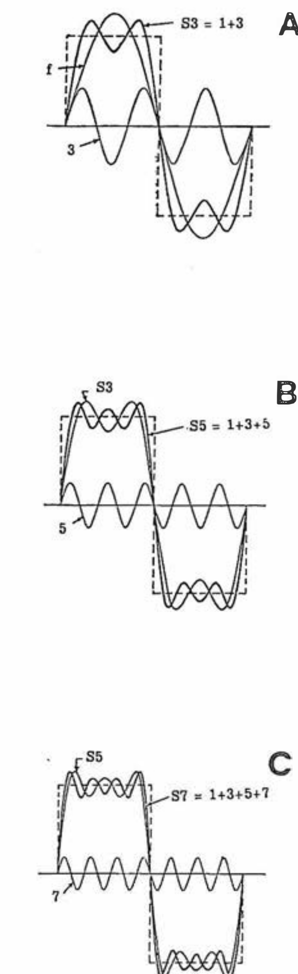


Fig. 46 H - Analisi della composizione di un'onda quadra. Sopra, sovrapposizione della terza armonica alla fondamentale. In centro, aggiunta della quinta armonica alla forma d'onda già modificata; la risultante si approssima alla forma quadra. Infine, con l'aggiunta della settima armonica ci si avvicina ancor più alla forma quadra.

Poiché quel circuito è in grado di trasferire all'uscita solo frequenze che non superino i 3000 Hz, avremo in uscita la presenza della fondamentale e della terza armonica. Le armoniche di ordine superiore saranno invece fortemente attenuate o addirittura mancanti.

In questo caso quindi, benché in entrata si sia applicata una tensione ad onda quadra, si ottiene in uscita una tensione di forma diversa, simile a quella indicata dalla **figura 47 H** (Sez. **A**).

Se l'ampiezza di banda del circuito venisse estesa fino ai 7 kHz, le frequenze trasferite in uscita giungerebbero fino alla settima armonica, e si otterrebbe quindi una forma d'onda del tipo illustrato dalla figura 47 H (Sez. **B**).

Come si vede, la distorsione introdotta in questo secondo caso, pur essendo ancora rilevante, è minore di quella che si era avuta in precedenza con banda passante fino a soli 3 kHz.

Se si aumenta l'ampiezza della banda passante del circuito — in particolare se si eleva il limite superiore delle frequenze riproducibili — viene trasferito in uscita un maggior numero di armoniche, e quindi la forma d'onda somiglia maggiormente a quella presente all'entrata.

Una perfetta riproduzione dell'onda presente all'ingresso richiederebbe dal circuito una ampiezza illimitata della banda passante. In pratica però, ciò non si può ottenere, poiché tutti i circuiti hanno, inevitabilmente, dei limiti alla loro banda passante.

L'ampiezza della banda passante necessaria per trasferire una determinata forma d'onda non sinusoidale dipende da due fattori principali: primo, dall'importanza delle armoniche nella varia reciproca relazione e, secondo, dalla funzione che quella data forma d'onda deve svolgere nel circuito.

L'estremo basso della banda passante dipende dalla frequenza fondamentale, essendo quest'ultima la più bassa che occorre trasferire.

L'estremo alto dipende invece dal cambiamento più rapido che ha luogo nella forma d'onda.

Poiché l'ampiezza di ogni componente armonica, in generale decresce all'aumentare dell'ordine delle armoniche, l'effetto delle armoniche più alte è molto inferiore a quello delle armoniche basse. La decima armonica, ad esempio, ha un effetto molto inferiore alla seconda, per quanto riguarda la forma dell'onda; analogamente, l'effetto della centesima armonica è assai minore di quello della decima, e così via.

Una buona rappresentazione della forma d'onda può essere ottenuta usando un dato numero di armoniche.

L'effetto delle armoniche di ordine superiore dipende dalla composizione dell'onda. Per quanto riguarda alcune forme d'onda, l'ampiezza delle armoniche più alte decresce rapidamente, e già con una banda passante di ampiezza poco rilevante si riesce ad ottenere una buona rappresentazione della forma d'onda.

Per ciò che si riferisce ad altre forme d'onda, invece, l'ampiezza delle armoniche di ordine superiore decresce lentamente, e quindi, per ottenere una buona riproduzione, è richiesta una banda passante notevolmente ampia.

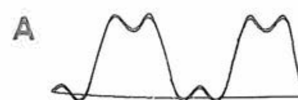
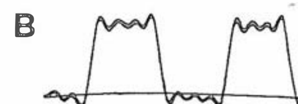


Fig. 47 H - Variazione di forma di una onda quadra dovuta ad attenuazione delle frequenze più elevate.



Estendendo la banda passante del circuito, migliora la forma d'onda all'uscita, che risulta infatti meno deformata rispetto alla forma quadra originale presupposta in partenza.

La minima ampiezza richiesta per la banda passante dipende altresì, come si è accennato, dalle funzioni che il segnale non sinusoidale dovrà compiere in seguito. Infatti, a questo proposito, se la forma d'onda può venire in parte modificata senza per questo compromettere il buon funzionamento dell'intera apparecchiatura, si può usare una banda passante più ristretta.

Se, invece, la forma d'onda deve essere riprodotta con alto grado di precisione, è indispensabile che il circuito presenti una banda passante molto più grande.

I segnali ad impulsi

Viene definito **impulso** un rapido aumento con una rapida caduta di tensione o di corrente.

Le onde quadre e rettangolari (figura 28 H), sono esempi di forme d'onda ad impulso; vengono comunemente usate in molte apparecchiature elettroniche, specialmente nei radar, negli strumenti di misura, in televisione, ecc.

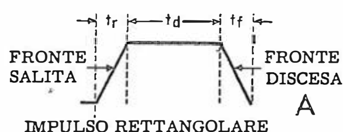
Il **tempo di salita** di un impulso, t_r, è l'intervallo di tempo richiesto da un impulso per salire dal 10 al 90 % della sua ampiezza totale (**figura 48 H**).

La **durata** dell'impulso, t_d, è l'intervallo di tempo durante il quale l'impulso rimane alla sua massima ampiezza.

Il **tempo di discesa**, t_f, è il tempo richiesto dall'impulso per cadere dal valore massimo a zero.

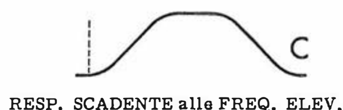
Questi tempi t_r, t_d e t_f, sono i « parametri » che servono per individuare, assieme al valore dell'ampiezza massima, il tipo dell'impulso che si considera.

A scopo di chiarimento ricordiamo che si definiscono « parametri » le grandezze o proprietà caratteristiche che, durante lo studio di un dato fenomeno rimangono o sono mantenute costanti.





RESPONSO BUONO alle FREQ. ELEV.



RESP. SCADENTE alle FREQ. ELEV.

Fig. 48 H - Composizione di un'onda quadra (A). In B e C sono mostrate le forme che l'onda assume in conseguenza di differenti responsi alle alte frequenze.

Quella parte dell'impulso che corrisponde al tempo t_r, ossia al tempo di salita, viene anche detta « fronte ascendente »; la parte corrispondente invece al tempo di caduta è detta « fronte discendente » dell'impulso.

Armoniche e "tempo salita - caduta"

Nella composizione di un'onda quadra, più vengono aggiunte le armoniche di ordine superiore, più divengono brevi i tempi di salita e di caduta.

Questo fenomeno si può chiaramente rilevare dalle curve rappresentate alla figure 46 H (Sez. A, B, e C).

Ad esempio, in C, la curva S7 ha un tempo di salita più breve della curva S5.

In B si può osservare che la curva S5 ha un tempo di salita più breve della S3. Aggiungendo altre armoniche di ordine superiore alla curva S7, si potrebbero ottenere altre curve i cui tempi di salita e di caduta sarebbero ancora più brevi.

Per questa ragione la forma dell'impulso durante i tempi di salita e di caduta dipende principalmente dal limite superiore della banda passante del circuito attraverso cui l'impulso viene fatto passare.

Se il circuito ha un responso scarso alle frequenze più elevate, le armoniche di ordine più alto non vengono riprodotte, e quindi i tempi di salita e di caduta risultano assai prolungati. Questo fenomeno si può osservare alla figura 48 H (Sez. **C**).

Nella figura 48 H (Sez. **A**) è rappresentato un impulso rettangolare con tempi di salita e di caduta finiti. I circuiti reali modificano la forma di questo impulso e, quando hanno una buona risposta alle frequenze più alte, gli angoli dell'impulso vengono arrotondati solo leggermente (figura 48 H - Sez. **B**); i tempi di salita e di caduta non sono, in questo caso, fortemente modificati.

Quando il circuito ha invece un cattivo responso alle frequenze elevate, come in C, si ha un ulteriore arrotondamento degli angoli, ed i tempi di salita e di caduta aumentano.



Fig. 49 H - Forma d'onda di un segnale ad onda quadra, alterata in seguito al passaggio in un circuito con responso scarso alle frequenze basse.

La regola seguente serve a determinare quanto deve essere alto il limite superiore della banda passante per riprodurre soddisfacentemente un impulso il cui tempo di salita sia t_r:

$$fH = \frac{1}{2t_r} \text{ Hz}$$

dove t_r è espresso in secondi.

La frequenza fH viene chiamata anche « responso alle frequenze alte » o « limite superiore di frequenza » od infine, « limite superiore del circuito ».

Questa formula può altresì essere applicata al fronte discendente dell'impulso, avente un tempo di caduta pari a t_f.

Supponiamo che, ad esempio, si debba riprodurre un impulso avente un tempo di salita di 0,5 microsecondi, come spesso capita nelle apparecchiature radar.

Il responso del circuito alle frequenze alte deve, in questo caso, estendersi fino a:

$$fH = \frac{1}{2t_r} = \frac{1}{2\ (0{,}5 \times 10^{-6})} = 10^6 \text{ Hz}$$

ossia $fH = 1 \times 10^6$ Hz = 1 MHz.

Il limite superiore di frequenza del circuito deve quindi essere di 1 MHz per riprodurre correttamente il fronte ascendente di un impulso avente un tempo di salita pari a 0,5 microsecondi.

Armoniche e "tempo di durata"

Il tempo di durata di un impulso, t_d, dipende dal responso del circuito alle frequenze basse.

Alla **figura 49 H** è rappresentata un'onda quadra passata attraverso un circuito avente un responso insufficiente alle frequenze basse. Si noti che la curva non è piana per il tempo di durata dell'onda.

Per ottenere una buona riproduzione della forma d'onda è quindi essenziale una buona risposta tanto alle frequenze basse quanto, come abbiamo visto prima, alle frequenze alte.

Il limite inferiore di frequenza che il circuito deve lasciar passare per riprodurre un impulso può essere calcolato mediante la formula:

$$f_L = \frac{1}{T_f} \text{ Hz}$$

ove f_L è espresso in Hz e T_f è il periodo fondamentale, ossia la durata di un intero impulso espressa in secondi.

La stessa formula, tenendo conto che il reciproco del periodo fondamentale è la frequenza fondamentale, si può esprimere:

$$f_L = f_1$$

dove f_1 è appunto la frequenza fondamentale.

Quando il limite di frequenza bassa di un circuito eguaglia la frequenza dell'impulso, si ha

una riproduzione soddisfacente; così un impulso la cui frequenza fondamentale sia di 1.000 Hz, richiede, per non venire distorto, un limite inferiore di banda passante di 1.000 Hz.

Banda passante e dente di sega

Le regole esposte nel paragrafo precedente a proposito degli impulsi quadrati o rettangolari, possono venire estese anche al caso di altri tipi di onde non sinusoidali.

Il concetto fondamentale è questo: il responso alle frequenze elevate ha effetto su quella parte della forma d'onda che varia (in ampiezza) più rapidamente, ossia che tende ad assumere un andamento verticale; il responso alle frequenze basse ha invece effetto su quella parte della forma d'onda che ha un andamento pressoché orizzontale (ossia quando l'ampiezza non varia, o varia con una certa lentezza in funzione del tempo).

Questi principi possono essere applicati per determinare l'effetto dei limiti di responso alle frequenze alte e basse su di una forma d'onda a dente di sega. Il fenomeno è rappresentato alla **figura 50 H.**

Il valore istantaneo di tensione per questa forma d'onda cresce gradualmente fino a che sia raggiunta la massima ampiezza, e successivamente cade bruscamente a zero. In conseguenza di quanto detto in precedenza, il limite di responso alle frequenze basse influenza il tratto ascendente dell'onda, mentre il limite alle frequenze alte ha effetto sul tratto discendente.

Nella figura 50 H (Sez. **B**), è rappresentata una tale onda dopo il passaggio di un circuito avente un responso scarso alle frequenze basse. Questa forma d'onda si ottiene sottraendo a quella ideale la prima, la seconda e la terza armonica.

Quando invece si ha un responso scarso alle frequenze elevate, si ottiene l'onda rappresentata alla figura 50 H (Sez. **C**). Come si può osservare, la mancanza delle armoniche superiori provoca una deformazione del tratto discendente.

L'ampiezza di banda di un circuito usato per il trasferimento di una tensione a dente di sega deve essere tale da consentire, all'estremo basso, il passaggio della frequenza fondamentale, ed all'estremo alto il passaggio di una frequenza pari a $1/2t_f$, dove t_f è anche qui il tempo di caduta.

Questi limiti sono gli stessi di quelli riferiti per il calcolo del passaggio degli impulsi.

Un esempio. Consideriamo la banda richiesta per lasciar passare una tensione a dente di sega avente un periodo principale $T_p = 1000$ microsecondi, ed un tempo di caduta $t_f = 5$ microsecondi.

Il limite richiesto alle frequenze più basse è:

$$f_L = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{1000 \times 10^{-6}} = 1.000 \text{ Hz}$$

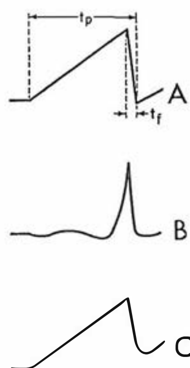


Fig. 50 H - Influenza del responso alla frequenza di un circuito ove sia stato immesso un segnale a dente di sega. In A, il segnale a dente di sega immesso nel circuito. In B, la forma risultante da responso scadente alle frequenze basse, ed in C, la forma risultante da responso scadente alle frequenze alte.

mentre il responso alle frequenze più alte deve giungere a:

$$f_H = \frac{1}{2t_f} = \frac{1}{10 \times 10^{-6}} = 100 \text{ kHz}$$

L'ampiezza della banda passante deve allora essere pari a $f_H - f_L$, ossia a 99 kHz.

Trasformazione forme d'onda

Abbiamo visto testé come i circuiti che vengono usati per amplificare o trasferire segnali non sinusoidali, ed in particolare forme d'onda con andamento di tipo geometrico, debbano soddisfare alcuni particolari requisiti per quanto riguarda l'ampiezza della loro banda passante.

I limiti di quest'ultima, sappiamo, possono essere, in alcuni casi, e cioè quando non ha importanza che il segnale di uscita sia eguale a quello d'entrata, assai più ristretti.

Vi sono poi casi in cui gli impulsi vengono fatti passare appositamente attraverso circuiti che li modificano. Infatti, capita spesso di dover trasformare segnali periodici che presentano un dato andamento, in altri segnali, sempre di tipo periodico, che presentino un andamento diverso.

Finora, abbiamo considerato solo i responsi dei circuiti RLC nel caso in cui veniva ad essi applicata una tensione positiva o negativa costante, mantenuta per un periodo di tempo abbastanza elevato, se paragonato alla « costante di tempo » del circuito. Tale costante di tempo è quel tempo necessario ad una tensione (o ad una corrente) per raggiungere circa il 63 % del suo valore stabile (o scendere al 37 % del suo valore iniziale).

Se invece si applicano segnali il cui periodo caratteristico è più breve della costante di tempo del circuito, si possono ottenere notevoli trasformazioni tra il segnale d'entrata ed il segnale di uscita; viene modificata sia la forma che l'ampiezza.

Supponiamo di applicare un segnale ad onda quadra ad un circuito la cui costante di tempo sia pari al doppio del periodo del segnale.

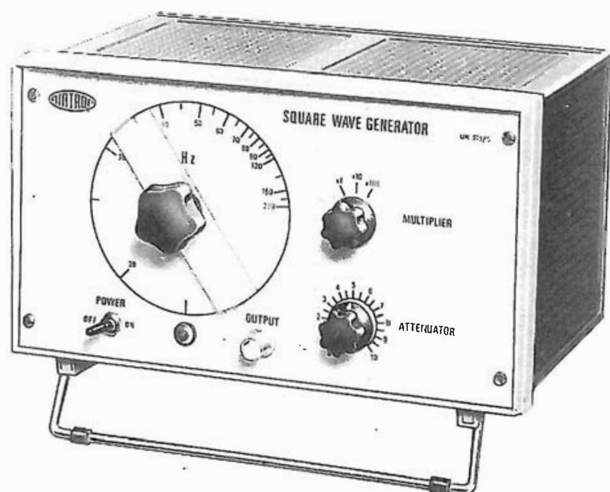
In tal caso, quando ha luogo la semialternanza positiva, la tensione in uscita cresce gradatamente dal valore minimo ad un certo valore che, poiché la costante di tempo è elevata, non raggiunge mai il valore massimo. Infatti, mentre la tensione sta ancora crescendo, sopravviene la semialternanza negativa, la quale fa in modo che la tensione del segnale in uscita cominci a scendere.

Anche a questo punto, la tensione non farà in tempo a raggiungere il suo massimo in senso negativo, per la stessa ragione spiegata in precedenza.

Regolando la costante di tempo del circuito, si può pervenire ad un controllo sull'ampiezza del segnale in uscita.

Circuiti che presentino questa possibilità verranno anche esaminati in una futura lezione.

Un generatore di onde quadre



Fornisce un'onda quadra con frequenza da 20 a 20 000 Hz in tre sottogamme. Tensione d'uscita regolabile: 20 V di picco su 600 ohm di impedenza. Tempo di salita di circa 2 microsecondi. Alimentato da rete.

Questo apparecchio risolve in maniera economica il problema di ottenere un generatore di onda quadra utile ai fini di molte misure, ossia a fianchi molto ripidi. Il risultato è raggiunto con l'impiego di un amplificatore operazionale collaudato da anni di impiego in grande massa, il circuito integrato 709.

Particolari accorgimenti sono adottati per rendere l'impedenza di uscita indipendente entro certi limiti dal carico.

L'alimentazione avviene dalla rete elettrica.

Il campo d'impiego si estende in vari settori della sperimentazione elettronica, ma il suo uso principale consiste nel collaudo rapido ed efficace della resa e del comportamento interno degli amplificatori di Bassa Frequenza ad Alta Fedeltà.

Il modesto ingombro e l'elegante presentazione, rendono questo strumento un ausilio prezioso per il tecnico che si interessa di B. F.

Avendo a disposizione un generatore che fornisca un'onda di entrata perfettamente squadrata e simmetrica ad un amplificatore, dalla forma dell'onda di uscita si possono dedurre informazioni estremamente interessanti sul comportamento dell'amplificatore in esame, così come si è appreso nelle pagine precedenti.

Molti generatori ad onda quadra economici, specie se non di prezzo elevatissimo, forniscono un'onda con fronti non perfettamente ripidi, in quanto la costruzione con componenti discreti di un efficace multivibratore richiede una notevole complicazione di circuito ed un gran numero di accorgimenti destinati a compensare il tempo di salita dei transistori o delle valvole, sempre piuttosto lungo.

Con l'avvento dei circuiti integrati lineari non sussiste più il problema del gran numero di componenti da impiegare in quanto questi sono tutti disposti su di un'unica piastrina di silicio, e siccome il costo varia poco con la complessità del circuito da integrare, non sussistono limiti per ottenere a buon prezzo risultati eccellenti, di carattere nettamente professionale.

Il costo di un circuito integrato diminuisce infatti fortemente in ragione inversa al numero degli esemplari prodotti.

Nello schema che proponiamo usiamo il classico 709, che dal 1965 ad oggi è stato uno dei più usati e collaudati amplificatori operazionali esistenti sul mercato.

Nel 709 sono contenuti 15 transistori, con le relative reti resistive di accoppiamento e di polarizzazione.

La caratteristica di un amplificatore operazionale è quella di avere una tensione di uscita rigorosamente costante al di fuori del campo in cui esso funziona da amplificatore perfettamente lineare.

L'alimentazione di un amplificatore operazionale del tipo prescelto richiede due tensioni, una negativa ed una positiva, con « zero » centrale.

Le entrate di pilotaggio sono due, una detta « di inversione » fornendo alla quale una tensione negativa, la tensione all'uscita sarà positiva e viceversa; l'altra entrata si comporterà in maniera opposta, ossia un segnale positivo all'ingresso determinerà un segnale positivo all'uscita e viceversa.

Da queste considerazioni risulta ovvio che collegando con un resistore l'uscita con l'en-

trata di inversione si provocherà nell'amplificatore un effetto di controreazione, con conseguènte diminuzione dell'amplificazione totale ed aumento della resistenza di ingresso; si avrà invece un effetto di reazione connettendo l'uscita con l'entrata non invertente.

Tenendo conto di queste due condizioni è facile realizzare con il 709 un « multivibratore astabile », le cui caratteristiche saranno una forma d'onda quasi perfettamente rettangolare, ed una stabilità eccezionale, dovuta agli accorgimenti adottati nel progetto del circuito integrato.

Il circuito elettrico

Riportiamo in **figura 51 H** lo schema elettrico adottato per il nostro generatore.

La rete di controreazione, che collega il terminale 6 con l'entrata invertente 2, è formata dai tre resistori R1, R2, R3, di cui R3 variabile, e dai due diodi D1 e D2. Di questo circuito spiegheremo in seguito la funzione.

La rete di reazione collega il terminale di uscita 6 del circuito integrato con l'entrata non invertente 3 per mezzo del partitore potenziometrico formato da R5, R6 (variabile) ed R7 che chiude il circuito a massa.

Tra il terminale di ingresso 2 e massa è sistemato un gruppo di condensatori diversi, che insieme alla resistenza di reazione, determineranno la frequenza di oscillazione del circuito.

Il circuito può avere due stati, corrispondenti a due livelli di uscita (massimo positivo e massimo negativo), tutti e due instabili.

Supponiamo per esempio che l'uscita sia al livello positivo massimo (+ Vo).

Questa tensione è applicata all'entrata non invertente (reazione) per mezzo del divisore formato da R5, R6, R7, ed all'entrata invertente per mezzo del resistore R1 e di quella parte di R3 che abbiamo in circuito.

Durante questo periodo di funzionamento, la funzione della rete di controreazione è quella di caricare quello dei tre condensatori (C6, C7 e C8) che abbiamo inserito in circuito mediante il commutatore SW1.

Quando il livello della tensione al terminale 2 del circuito integrato raggiunge quello presente al terminale 3, si ha una rapida commutazione e la tensione di uscita passa rapidamente al suo massimo valore negativo.

Il valore della tensione di commutazione all'ingresso dipende dal valore della tensione massima all'uscita e dalla posizione del potenziometro R6 che determina il valore della tensione di reazione.

È ovvio quindi che, mantenendo costante la capacità, la frequenza varierà a seconda della posizione del cursore di R6, in quanto si produrrà il basculamento in un punto diverso della curva di carica del condensatore.

Il contrario accade quando la tensione di uscita è al suo massimo valore negativo.

In questo caso il condensatore si deve scaricare attraverso la rete di controreazione, mentre valgono le condizioni dette sopra per quanto riguarda l'effetto del partitore di reazione.

Quindi spostando la posizione del cursore di R6, la frequenza potrà variare entro un certo campo.

Per fornire vari campi di variazione della frequenza si commutano i citati, diversi valori di capacità (C6, C7, C8).

La frequenza dipende anche dal valore R della resistenza globale di controreazione.

Siccome sulla rete di controreazione sono stati disposti i diodi D1 e D2 che servono a separare nettamente il regime di carica da quello di scarica del condensatore, potremo inserire un potenziometro R3, variando il quale potremo variare la durata della semionda positiva rispetto a quella negativa.

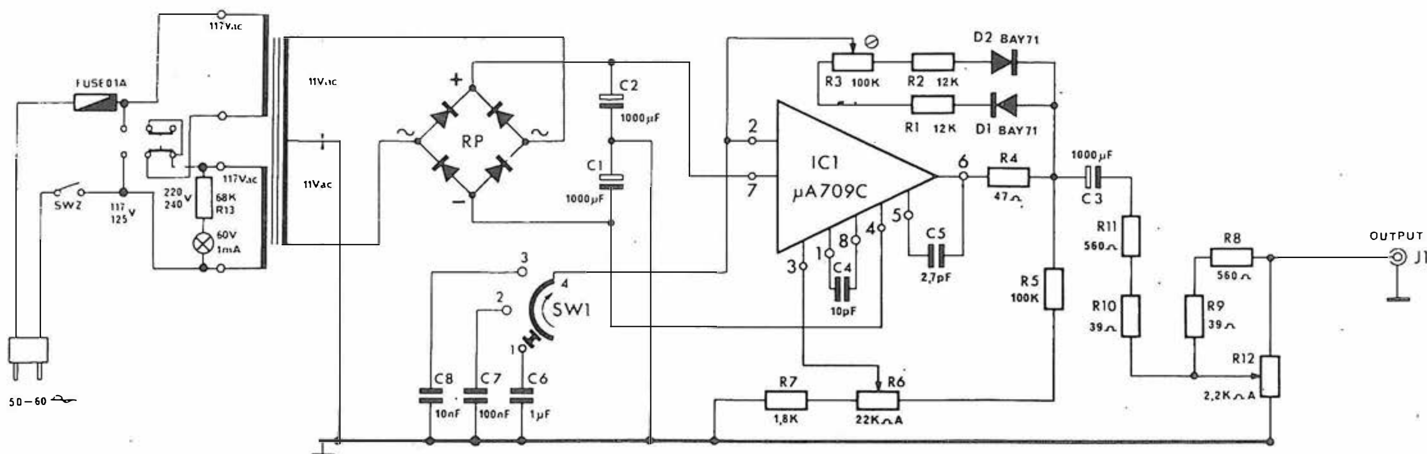


Fig. 51 H - **Il circuito è basato essenzialmente sull'impiego di IC 1, un integrato (raggruppamento funzionale di transistori) che presenta la caratteristica di una tensione di uscita costante e due entrate (2 e 3) di pilotaggio (amplificatore operazionale). Riportando parte della tensione d'uscita alle entrate si dà luogo ad oscillazione a forma d'onda impulsiva (multivibratore). Opportuni valori resistivi e capacitivi determinano la frequenza e la larghezza dell'oscillazione.**

Nel nostro caso R3 servirà a rendere uguali perfettamente le due durate, in quanto la simmetria costituisce la condizione essenziale di funzionamento per un generatore di onda quadra.

L'uscita del segnale avviene attraverso il condensatore C3 di capacità molto elevata e sufficiente a lasciare passare il segnale senza distorsione apprezzabile, e l'attenuatore formato da R8, R9, R10, R11, con il potenziometro R12. La ragione di una tale rete resistiva è quella di rendere il più possibile costante l'impedenza di uscita con il variare dell'ampiezza del segnale.

L'alimentazione avviene dalla rete in corrente alternata.

Dalla presa rete, attraverso un interruttore generale SWZ ed un fusibile di protezione, la corrente alternata entra nel trasformatore di alimentazione.

Questo trasformatore ha due primari uguali che connessi in parallelo funzionano a 117-125 V e connessi in serie funzionano a 220-240 V. A variare le connessioni dei primari provvede un apposito commutatore di cambiotensioni.

La presenza della corrente nell'apparecchio è segnalata da una lampada spia sul pannello frontale.

Il secondario del trasformatore di alimentazione è dotato di una presa centrale che è collegata a massa.

Il raddrizzatore a ponte RP fornisce le due tensioni positiva e negativa perfettamente simmetriche rispetto alla massa.

I due condensatori eguali C1 e C2 con centro a massa provvedono al livellamento della tensione raddrizzata.

Non è necessario stabilizzare la tensione in quanto il circuito integrato è costruito per sopportare notevoli variazioni della tensione di alimentazione senza cambiare le sue caratteristiche.

L'alimentazione avviene a ± 15 V verso massa.

L'ampiezza dell'onda quadra in uscita può variare da zero a 20 V picco-picco su una impedenza di 600 Ω.

C4 e C5 servono a completare le controreazioni interne per allargare la risposta in frequenza, in quanto è molto difficile effettuare l'integrazione delle capacità nei microcircuiti.

Criteri realizzativi

L'intero strumento è contenuto in una custodia facilmente montabile e smontabile per verifiche e riparazioni. I comandi principali sono riuniti sul pannello anteriore.

Dal pannello posteriore fuoriesce il cavo di alimentazione e sul pannello sono montati il commutatore di cambio-tensioni ed il fusibile di protezione.

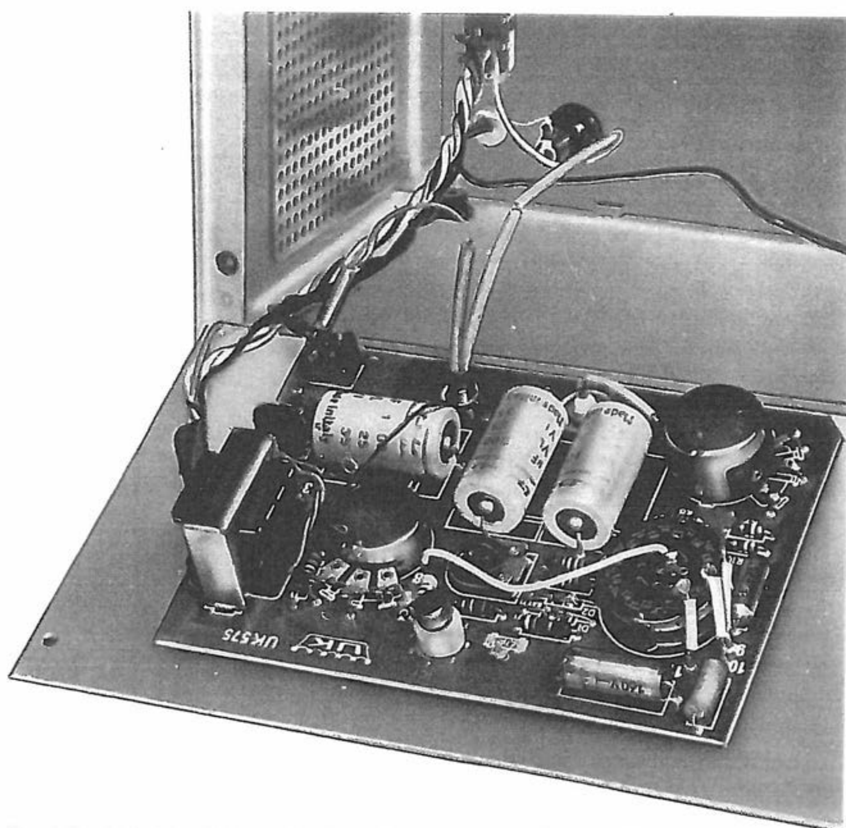


Fig. 52 H - La basetta a circuito stampato che comprende praticamente l'intera apparecchiatura caratterizza questo, come già gli altri strumenti Amtron. Questo generatore è identificabile come « kit » con la sigla 575/S. Sul retro della casetta-custodia si osserva il collocamento del fusibile e del cambio-tensioni. Il pannello metallico che supporta il circuito stampato è quello frontale e, sistemato a chiusura della cassetta si presenta così come si può osservare a pagina 28 h.

Quasi tutto il circuito del generatore, compreso l'alimentatore, è montato su di un unico circuito stampato; i collegamenti in cavo, ridotti al minimo indispensabile, sono facili da eseguire senza errori in quanto i punti di collegamento sono facilmente accessibili.

Sul pannello anteriore si nota il comando della regolazione continua della frequenza dotato di una scala chiara e visibile.

Troviamo inoltre il commutatore per il cambio della gamma. Ogni gamma è un multiplo della gamma precedente, così che è necessaria una sola scala per la regolazione continua.

L'attenuatore situato a destra in basso reca una scala percentuale.

La presa di uscita del segnale è del tipo coassiale a basse perdite.

Appaiono infine sul pannello anteriore la lampada spia per la presenza della tensione nello strumento e l'interruttore generale.

Fasi della costruzione

Il montaggio ha inizio col collocamento dei componenti sul circuito stampato.

Per facilitare il compito dell'esecutore numerosi disegni corredano l'assieme del materiale fornito (« kit »). Si vedano, per farsi un'idea dell'apparecchio, le **figure 52** e **53 H.** Su quest'ul-

tima appare la serigrafia del circuito stampato sulla quale è sovrapposta l'esatta disposizione dei componenti.

Per il montaggio del circuito integrato è stato previsto un apposito zoccolo che presenta un segno di riferimento per l'esatto montaggio.

Collaudo

Prima di iniziare il collaudo controllare più volte il circuito e l'isolamento nei punti più critici. Se tale verifica è fatta scrupolosamente vengono eliminati tutti i pericoli che si possono presentare al momento dell'accensione dell'apparecchio.

1) Regolare il cursore del potenziometro semifisso R3 nella sua posizione intermedia.

2) Alimentare l'apparecchio e chiudere il circuito di alimentazione mediante l'interruttore SW2 (SWZ).

Fig. 53 H - Quanto si osserva nella fotografia della pagina di fronte è qui riprodotto con disegno dettagliato (il tutto risulta, naturalmente, capovolto). I collegamenti a cavetto sono pochi e sono quelli già citati per la rete, nonché alcuni per SW 1.

3) Misurare le tensioni nei punti indicati nelle istruzioni per il « kit ». La verifica delle tensioni ha lo scopo di accertare se le condizioni di alimentazione sono quelle volute, ossia che le tensioni siano quelle indicate.

Prova

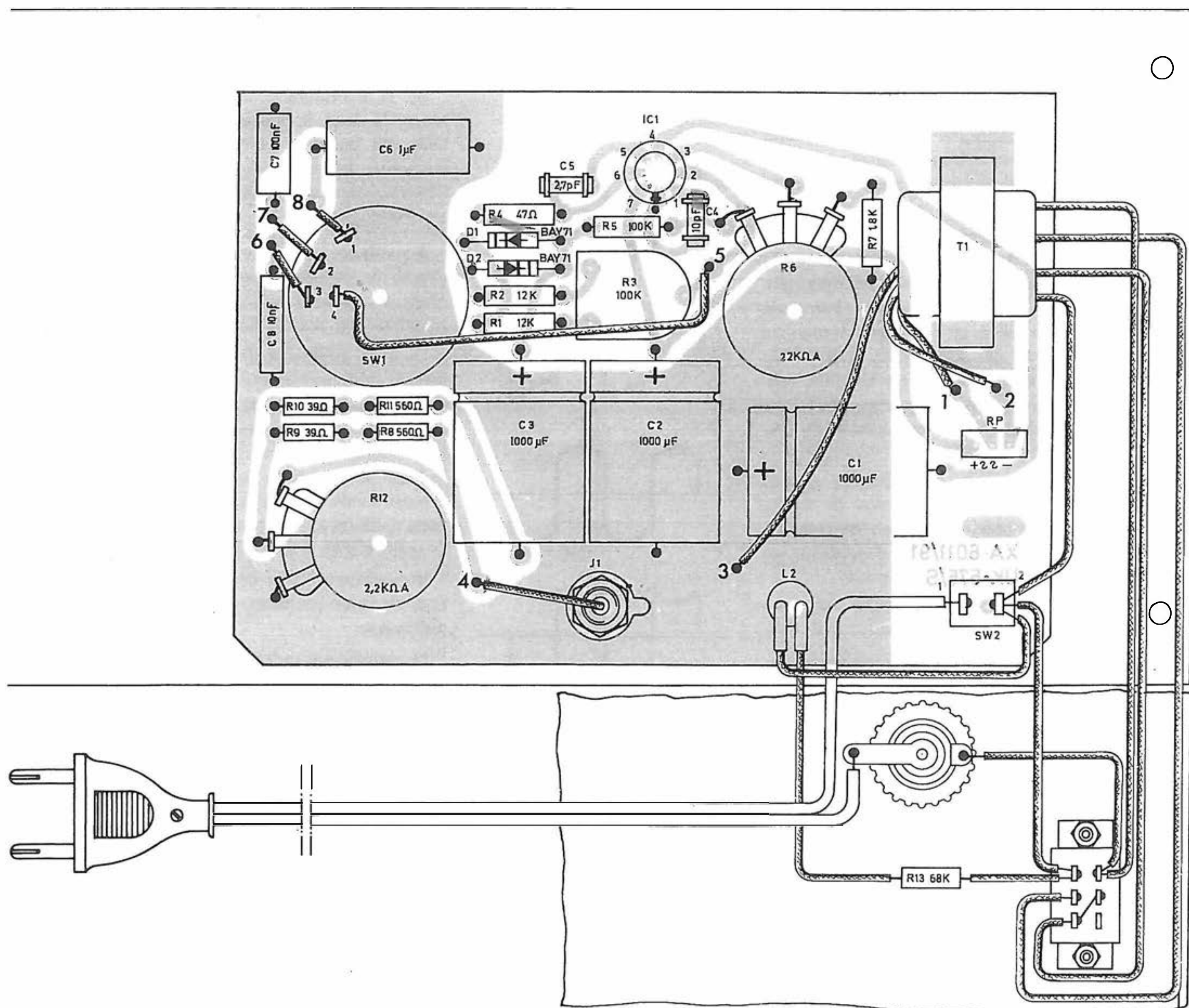
Collegare l'uscita del generatore mediante il suo cavo di connessione all'ingresso di un oscilloscopio.

Disporre il moltiplicatore di frequenza SW1 nella posizione X10.

Regolare l'indice di sintonia sulla posizione 100. Dovremmo così avere in uscita una frequenza di 1000 Hz.

Accendere il generatore.

Regolare il comando di sensibilità dell'oscilloscopio in modo che la figura abbia un'altezza



tale da non essere distorta dall'oscilloscopio stesso.

Regolare lentamente il potenziometro semifisso R3 in modo da ottenere che le due semionde risultino perfettamente uguali.

Verificare la corretta azione dell'attenuatore di uscita.

Verificare che la frequenza sia effettivamente di 1000 Hz, in caso contrario ruotare la manopola con indice fino a perfetta coincidenza.

Impiego

Il campo di impiego di un siffatto generatore è vastissimo. Parleremo in modo particolare del suo uso come mezzo di verifica della resa di un amplificatore a Bassa Frequenza.

Applicando all'ingresso di un amplificatore di Bassa Frequenza un segnale rettangolare di ampiezza tale da non saturare gli stadi, si può osservare sullo schermo di un oscilloscopio collegato all'uscita dell'amplificatore, come si presenta l'onda dopo essere passata attraverso la catena di amplificazione.

Un'onda rettangolare si può scomporre in una serie infinita di onde sinusoidali di ampiezza decrescente e di frequenze multiple di quella fondamentale dell'onda rettangolare di partenza, in ragione di numeri dispari. È quanto abbiamo già appreso.

Se tutte o quasi queste armoniche vengono fatte passare con la corretta ampiezza e la giusta fase dall'amplificatore, avremo veramente un apparecchio di pregio, che non introduce distorsioni, non modifica la fase della frequenza passante in nessuno dei suoi valori, e possiede una banda sufficientemente larga da non rendere visibile l'effetto della frequenza limite superiore sul passaggio delle armoniche di ampiezza minore.

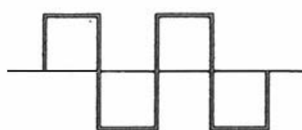
Quindi se l'amplificatore è veramente di alta qualità, dovremo ritrovare all'uscita la forma dell'onda di entrata opportunamente amplificata, ma della stessa forma di quella d'ingresso, od almeno senza deformazioni apprezzabili.

Se la forma fosse proprio uguale avremmo la perfezione che ovviamente non si può raggiungere.

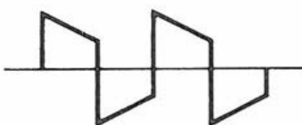
Se però la forma dell'onda in uscita si allontana molto da quella di entrata, potremo fare una diagnosi abbastanza esatta dei difetti dell'amplificatore e prendere gli opportuni provvedimenti per eliminarli.

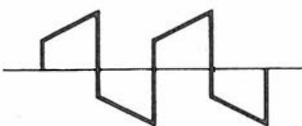
Variando la frequenza all'entrata, si potrà verificare il comportamento dell'amplificatore per una vasta gamma di frequenze, ed eventualmente trovare dei punti singolari come risonanze, ecc. che conviene assolutamente eliminare.

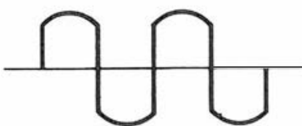
Diamo in **figura 54 H** alcune delle forme d'onda che si potranno osservare in un amplificatore difettoso.



Onda quadra in entrata.







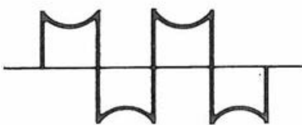


Fig. 54 H - Come già si è detto a pagina 25 h e seguenti, un segnale ad onda quadra, qual'è quello fornito da questo generatore, applicato ad un amplificatore deve essere, in uscita, sempre a forma quadra. Le diverse, eventuali deformazioni denotano (dall'alto in basso): anticipo di fase alle frequenze basse; ritardo di fase alle frequenze basse; aumento di amplificazione su dette frequenze (senza spostamento di fase) e caduta di amplificazione, per le stesse frequenze (senza spostamento di fase).

Un'inclinazione dei tratti orizzontali è sintomo di ristrettezza di banda e di presenza di sfasamenti.

Se il tratto orizzontale è inclinato verso destra, si ha un basso guadagno alle basse frequenze accoppiato con un anticipo di fase.

Questo può dipendere dall'insufficiente induttanza del trasformatore di uscita, o da condensatori di accoppiamento di valore troppo basso.

Se l'inclinazione è opposta si ha una banda limitata alle alte frequenze insieme con un ritardo di fase alle frequenze basse.

La causa si può ricercare in un eccessivo smorzamento del trasformatore di uscita od in un'eccessiva presenza di capacità parassite.

Arrotondamenti al bordo di entrata indicano comunque scarse caratteristiche in alta frequenza (vedi figura 48 H in **C**).

Se i tratti orizzontali appaiono frastagliati, è segno che l'amplificatore entra in oscillazione e questo è dovuto ad insufficiente controreazione, a condizioni di fase non corrette per errata od insufficiente compensazione.

Tratti orizzontali presentanti semplici curvature indicano che il difetto è localizzato alla frequenza fondamentale dell'onda quadra.

Se la curvatura è centrata, sapremo che almeno la fase è centrata. Un'incurvatura verso l'esterno indica un effetto di esaltazione delle frequenze basse, mentre un incurvamento verso l'interno mostra un effetto di riduzione alle basse frequenze.

Spostando la frequenza entro il campo permesso di variazione, si può avere un'idea della effettiva larghezza di banda dell'amplificatore in rapporto alle distorsioni.

La vera larghezza di banda si deve misurare invece con un generatore sinusoidale, e verificare se l'uscita rientra nelle prescrizioni di progetto, tracciandone la curva di risposta al variare della frequenza. Normalmente si adotta la larghezza di banda a —3 dB. Vale a dire che si è fuori banda quando la tensione in uscita, misurata sulla sua resistenza di carico, scende ad un valore che è 0,707 il valore massimo.

Naturalmente, non è sempre necessario avere una risposta perfettamente lineare per un amplificatore.

Le regolazioni di tono servono appunto a modificare determinate frequenze per ottenere migliori condizioni di ascolto in determinate condizioni oppure speciali effetti sonori.

L'oscillatore che presentiamo serve anche a verificare che questi controlli funzionino nel modo dovuto.

Un amplificatore con una buona risposta dovrebbe mantenere la forma rettangolare dell'onda in un campo di frequenze piuttosto ampio. Per esempio se l'onda rimane piana fino a 2 kHz potremo ragionevolmente supporre che la banda passante si estenda fino ad una frequenza tra i 19 ed i 24 kHz ossia fino alla nona od undicesima armonica della frequenza fondamentale.